Zeitschrift
für den
Physikalischen und Chemischen Unterricht.

XXIII. Jahrgang. **Erstes Heft.** Januar 1910.

Zur Geschichte und Wurzel der Machschen Philosophie.

Von
Prof. Dr. **Alois Höfler** in Wien.

Die Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht ist Ernst Mach zu unauslöschlichem Dank verpflichtet. Nicht besser könnten wir beim Beginn eines neuen Jahrganges die Erinnerung an die nun schon weit zurückliegenden Anfänge unserer Zeitschrift erneuern, als indem wir das Bleibende der reichen Anregung, die Mach neben seiner Forschertätigkeit auch dem physikalischen Unterrichte hat zuteil werden lassen, angesichts seiner jüngsten Veröffentlichung[1]) abgrenzen gegen manche seiner nicht didaktischen, sondern rein theoretischen, speziell erkenntnistheoretischen Lehren. Denn diese bilden noch heute für physikalische und pilosophische Forscher einen Gegenstand lebhaften Streites, nachdem sie seit mehr als zwei Jahrzehnten „der Parteien Haß und Gunst" auf sich gelenkt hatten. Um gegen diesen Streit manche didaktische Leistungen sicherzustellen, wird es nötig sein, einige der Streitpunkte selbst in Erinnerung zu bringen und gegeneinander abzugrenzen.

Wiewohl es nur ein „zweiter, unveränderter Abdruck" ist, in dem Mach seinen Vortrag über die „Erhaltung der Arbeit" von neuem zugänglich macht, wird doch jeder Kenner der ersten Ausgabe dieses Erscheinen der zweiten mit lebhafter Freude begrüßen. Denn wer die Schicksale der späteren, namentlich mit der „Mechanik" von 1883 anhebenden Reihe von Machs literarischer Produktion und ihren in immer wieder neuen rasch aufeinanderfolgenden Auflagen sich bekundenden ungewöhnlichen, fast beispiellosen literarischen Erfolg aufmerksam verfolgt hat, der weiß, daß „die Wurzel" aller dieser mannigfachen Schriften in jenem Schriftchen von 1872 zu suchen ist. Wiewohl diesem noch einige kleinere Arbeiten, die in eben dieser Schrift zum Teil wieder abgedruckt waren und sind, vorausgegangen waren, so muß doch die „Geschichte" der Mach-Literatur bei diesem knappen Heftchen einsetzen. Da es nicht möglich wäre, das heute Wesentlichste knapper und eindringlicher zu sagen als der Verf. selbst in dem Vorwort zum zweiten Abdruck (der sich außerdem nur noch durch anderthalb Seiten „Bemerkungen zum zweiten Abdruck 1909" von der ersten Ausgabe unterscheidet), so sei dieses Vorwort unverkürzt hier wiedergegeben:

> Vorwort. — In der vorliegenden kleinen Schrift, welche 1872 erschienen ist, habe ich den ersten Versuch gemacht, meinen erkenntniskritischen, auf sinnes-physiologischen Studien fußenden Standpunkt in bezug auf die Gesamtwissenschaft zu umschreiben und insbesondere in bezug auf die Physik schärfer zu bezeichnen. Jede metaphysische, aber auch jede einseitig mechanistische Auffassung letzterer Wissenschaft wurde abgelehnt, und eine denkökonomische Ordnung des Tatsächlichen, des sinnlich Ermittelten wurde empfohlen. Die Abhängigkeit der Erscheinungen

[1]) Die Geschichte und die Wurzel des Satzes von der Erhaltung der Arbeit. Vortrag, gehalten in der K. Böhm. Gesellschaft der Wissenschaften am 15. Nov. 1871 von E. Mach, Professor der Physik an der Universität Prag. — Zweiter, unveränderter Abdruck nach der in Prag 1872 erschienenen ersten Auflage. Leipzig, Verlag von Johann Ambrosius Barth, 1909. (66 Seiten, M 2,—.)

von einander zu erforschen, wurde als das Ziel der Naturwissenschaft bezeichnet. Die hieran anknüpfenden Exkurse über Kausalität, Raum und Zeit mochten damals noch als recht abgelegen und verfrüht erscheinen; sie fanden aber ihre Weiterführung in meinen späteren Schriften und dürften der heutigen Wissenschaft nicht mehr gar so fern liegen. Man findet hier auch die grundlegenden Gedanken, welche in der „Mechanik“ 1883, in der vorwiegend an die Biologen gerichteten „Analyse der Empfindungen“ 1886, der „Wärmelehre“ 1896 und in dem ausführlicher physikalisch-erkenntniskritische Fragen behandelnden Buch „Erkenntnis und Irrtum“ 1905 dargestellt sind.

Daß die vor 37 Jahren erschienene, seit 12 Jahren vergriffene Schrift hier mit ihren Mängeln in einem unveränderten Abdruck erscheint, um sie den wiederholt danach Fragenden doch bieten zu können, wird man wohl begründet finden. Sanguinische Hoffnungen in bezug auf den Erfolg der Schrift konnte ich von vornherein nicht hegen. Hatte doch schon mehrere Jahre vorher meiner kurzen Ausführung über die Definition der Masse, die jetzt wohl allgemein angenommen ist, der alte Herr Poggendorff die Aufnahme in die Annalen verweigert. Als M. Planck 15 Jahre nach mir über die „Erhaltung der Energie“ schrieb, hatte er nur eine abweisende Bemerkung gegen eine meiner Einzelausführungen vorzubringen, ohne welche man hätte annehmen müssen, daß er meine Schrift gar nicht gesehen hat. Ein Lichtblick war es aber für mich, als Kirchhoff 1874 die vollständige einfachste Beschreibung der Bewegungen als Aufgabe der Mechanik bezeichnete, was ja ungefähr der ökonomischen Darstellung des Tatsächlichen entsprach. Helm wußte das Prinzip der Denkökonomie und den Ansatz zur allgemeinen Energetik in meiner Abhandlung zu würdigen. Wenn auch H. Hertz seiner Sympathie nicht offen Ausdruck gegeben hätte, so stimmen doch die Äußerungen in seiner Mechanik 1894 so genau zu den meinigen, als dies bei einem Vertreter der mechanistisch-atomistischen Physik und einem Anhänger Kants möglich ist. Es sind nun nicht gerade die schlechtesten Menschen, welche mir näher standen. Da ich aber auch heute, an der Grenze des Menschenalters angelangt, die Leute an den Fingern herzählen kann, welche einen dem meinigen mehr oder weniger naheliegenden Standpunkt einnehmen, wie Stallo, W. K. Clifford, J. Popper, W. Ostwald, K. Pearson, F. Wald, P. Duhem, um von der jüngeren Generation nicht zu sprechen, so sieht man doch, daß es sich um eine winzige Minorität handelt. Ich kann also durchaus nicht die Besorgnis teilen, welche aus Äusserungen wie jenen M. Plancks (Die Einheit des physikalischen Weltbildes, Leipzig 1909, S. 31-38) hervorzugehen scheint, daß die orthodoxe Physik eine kräftig abwehrende Verteidigungsrede nötig hat. Vielmehr befürchte ich, daß mit und ohne solche Reden die einfachen, natürlichen, ja unvermeidlichen Überlegungen, die ich angeregt habe, spät, recht spät zu ihrem Recht gelangen werden.

„Nicht jeder Physiker ist Erkenntniskritiker, nicht jeder muß oder kann es auch nur sein. Die Spezialforschung beansprucht eben einen ganzen Mann, die Erkenntnistheorie aber auch.“ (Analyse d. Empf., 5. Aufl., S. 255.) Dies mußte ich einem mit Recht berühmten, nunmehr verstorbenen Physiker antworten, als er mir die hypernaive Zumutung machte, mit der Analyse der Empfindungen zu warten, bis die Bahnen der Atome im Gehirn bekannt wären, worauf sich ja alles leicht ergeben würde. Der unter Leitung einer Arbeitshypothese denkende Physiker rektifiziert seine Begriffe meist genügend durch genaue Vergleichung der Theorie mit der Beobachtung und hat wenig Anlaß, sich um Erkenntnispsychologie zu kümmern. Wer aber eine Erkenntnistheorie kritisieren oder gar andere über diese belehren will, muß sie doch kennen und durchdacht haben. Dies kann ich meinem physikalischen Kritiker nicht zugestehen, wie ich nötigenfalls am geeigneten Orte ohne Schwierigkeit zeigen werde.

Wien, Mai 1909. E. Mach.

Da wir im übrigen nicht eine Anzeige des Schriftchens als solche, sondern die rein gegenständliche Erwägung einiger der hier von Mach so scharf umgrenzten Gegenstände und Gründe der Entzweiung zwischen seinen Anhängern und ihren Gegnern uns zur Aufgabe machen, so seien vorher noch einige gegen allen solchen Streit sicherzustellende didaktische Thesen Machs aus der „Einleitung“ hier wiedergegeben.

„Wer nur eine Ansicht oder eine Form einer Ansicht kennt, glaubt nicht, daß je eine andere dagewesen, glaubt nicht, daß je eine andere kommen wird, der zweifelt nicht, der prüft nicht. Wenn wir selbst den Wert der sogenannten klassischen Bildung oft rühmen, so werden wir hierbei kaum im Ernst annehmen, daß dieselbe von achtjährigem Deklinieren und Konjugieren herkomme. Wir glauben vielmehr, daß es nicht schaden kann, wenn wir die Weltanschauung und die Ansichten eines anderen hochstehenden Volkes kennen gelernt haben, um uns gelegentlich auf einen anderen, als den uns anerzogenen Standpunkt versetzen zu können. Klassische Bildung ist wesentlich historische Bildung.

Wenn dies aber richtig ist, so haben wir dann einen viel zu engen Begriff von klassischer Bildung. Nicht die Griechen allein, das gesamte Kulturleben der Vergangenheit geht uns dann an. Ja, es gibt dann für den Naturforscher eine besondere klassische Bildung, die in der Kenntnis der Entwicklungsgeschichte seiner Wissenschaft besteht.

Lassen wir die leitende Hand der Geschichte nicht los. Die Geschichte hat alles gemacht, die Geschichte kann alles ändern. Erwarten wir von der Geschichte alles, vor allem aber, was ich auch von meiner Geschichte hoffen will, daß sie nicht zu langweilig sei.“

In der Tat dürfte wohl das unbestrittenste Verdienst Machs um den physikalischen Unterricht — von wo aus dann die Erweiterung auch auf jeden anderen realistischen Unterricht sich leicht und unabweislich von selbst ergibt — in seiner immer wiederholten und betätigten Forderung liegen, der Unterricht möge sich doch sorgfältig kümmern um die Geschichte seines jeweiligen Gegenstandes. Denn auch ohne alle problematischen Parallelen zwischen dem phylo- und ontogenetischen Gesetz der Biologie und der Didaktik leuchtet es ja ein, daß die Voraussetzungslosigkeit, mit der wir vor unsere Schüler hintreten müssen, wenn wir sie an ein ihnen recht vom Grund aus neues Gebiet heranführen wollen, für die Wissenschaft selbst jeweils nur einmal bestanden hat: nämlich da, wo auch sie von einem ihrer Großen sozusagen aus Nichts hatte erschaffen werden müssen. Oder näher besehen freilich nicht aus Nichts; sondern nur der Rohstoff vorwissenschaftlicher Erfahrung hatte durch das Gehirn je eines jener Großen zuerst seinem eigenen Denken assimiliert und eben hierdurch erst dem Nachdenken der Menschheit verdaulich gemacht werden müssen. Man könnte auch sagen: Nicht erst dem Schüler, sondern sich selber ist es der Lehrer schuldig, durch Kenntnisnahme der Geschichte seines Faches — nicht nur summarisch, sondern in allen ihren einzelnen epochalen Taten, wie z. B. der Schöpfung einer quantitativen Phoronomie und Dynamik durch Galilei angesichts so alltäglicher Erscheinungen wie Fall und Wurfbewegung — sich das Maß von Voraussetzungslosigkeit und Voraussetzungen erst wieder vor sein geistiges Auge zu führen, mit dem die Phänomene selbst, heute noch wie z. B. vor 300 Jahren, sich dem Menschen zuerst zur Anschauung darboten und ihn erst hierdurch zum Denken weiter drängten. Ohne ein solches Verhältnis von Anschauen und Denken der Erscheinungen und Dinge aber gibt es keinen „realistischen“ Unterricht, keinen, der die Dinge selber ihre natürliche, nicht schon konventionelle Sprache zum Kinde wie zum Forscher sprechen läßt.

Und doch: sollten nicht schon die angeführten Worte das Lob der Geschichte um einen Ton zu hoch angestimmt haben? „Die Geschichte hat alles gemacht, die Geschichte kann alles ändern.“ Ist von hier nur noch ein Schritt zur Skepsis, oder stehen wir schon mitten in ihr? Die Geschichte erzählt uns freilich, daß der Menschengeist seine Meinungen nahezu ebenso rasch ändert, wie Moden infolge Geistlosigkeit sich ändern. Müssen wir es aber darum hinnehmen, daß, nicht anders und nicht besser als die Mode ihre hinfälligen Werke macht und so schnell als möglich wieder wegbläst, auch die Meinungen und Einsichten nur von der Geschichte selbst „gemacht“ werden? Eine zwar nicht ganz voraussetzungslose, hoffentlich aber wenigstens vor-

urteilslose Beschreibung und Erklärung des Wandels wissenschaftlicher Überzeugungen wird immer wieder geneigt sein, sich das manchmal tragische, manchmal komische Schauspiel mit seinen manchmal allzuschnellen, dann wieder allzu langsam dünkenden Wandlungen und Verwandlungen so zu deuten, daß eine Welt „unabhängiger" (d. h. von allem Denken und Gedachtwerden unabhängiger) Realitäten[2]) ihren Gang gehe, dabei vom menschlichen Denken immer vollständiger erfaßt werde, und eben hierdurch diesem Denken immer feinere „Anpassungen an die Tatsachen" aufnötige. Also: die Dinge unabhängig vom Denken, aber das Denken nichts weniger als unabhängig von den Dingen. Die Geschichte ist dann nur eine des Denkens und nicht eine der Dinge. — Doch, zu einem solchen Schema zugespitzt, schösse ja der Satz von den „unabhängigen Realitäten" schon vorüber an der Tatsache, daß doch auch die Dinge selbst sich „entwickeln"; und vielleicht will ja der paradoxe Satz „Die Geschichte hat alles gemacht" viel mehr die Entwicklung der Dinge als die Entwicklung des Denkens schildern? Oder er will, wenigstens in dem mitgeteilten Zusammenhang, doch die Entwicklung des Denkens, als eben durch die Entwicklung der Dinge geboten, ja erzwungen, allen Denen zu Gemüte führen, die mit ihrem Denken hinter der Entwicklung der Dinge zurückzubleiben Gefahr laufen? — Aber der größere Zusammenhang der ganzen Schrift verrät wohl genug von Machs Grundmeinungen, daß eine solche Deutung ins Realistische, in einen Glauben an die auch von der Gedankengeschichte unabhängigen Realitäten wohl schwerlich die Pointe der angeführten Stelle träfe. Und haben diese Blätter, denen so lange die Ehre zuteil war, von Mach unmittelbar vielseitig gefördert zu werden, dennoch manchmal den mehr realistischen Standpunkt der anderen Herausgeber und Mitarbeiter zum Ausdruck bringen müssen, so glauben sie auch jetzt eine warnende Stimme erheben zu müssen gegen die (durch Mach selbst vielleicht gar nicht beabsichtigte) Gefahr, daß mancher selbst noch mitten in seiner geistigen Entwicklung stehende Leser und Lehrer angesichts des Wandels, von dem uns die Geschichte erzählt, sich einen Zweifel an der Unwandelbarkeit wirklicher Wahrheit nach Machs Philosophie der Geschichte hole. Es ist nicht beschämend für unser Wahrheitsuchen, wenn es sein vorgezeichnetes Ziel tausendmal und jahrtausendelang verfehlt; aber es ist verheerend wie alle bloße Skepsis, wenn jenes Suchen für eigentlich ziellos, d. h. wenn entweder die Wahrheit für immer und überall unerkennbar gehalten oder wenn gar die schon erkannte allzu leicht wieder preisgegeben — und wenn nicht vielmehr gehofft wird, daß jedes Opfer einer vermeintlich für immer sichergestellten, dann aber als noch nicht einwandfrei erkannten Wahrheit doch nur ein weiterer Schritt der Annäherung an jenes Ziel der objektiven Wahrheit sei. — Richten sich diese Bekenntnisse eines Glaubens an absolute, zum Teil erkennbare, zum Teil auch nicht voll erkennbare Wahrheit gegen Mach? „Ich weiß es nicht!", muß ich mit dem Erzähler des „Bildes von Saïs" sagen. Das aber weiß ich, daß sie sich wenden gegen eine Mode unter jüngeren Denkern, auch unter den Physiklehrern, die sich zugunsten ihrer Skepsis nun besonders gern auf Mach und allenfalls auf seine historischen Beziehungen zum Skeptiker David Hume berufen. Ist es ein Zufall, daß Hume neben seiner Philosophie gerade Geschichte trieb, wie Mach neben Physik seine Philosophie? —

Nach der kurzen „Einleitung" (S. 1—4) folgt der erste Hauptabschnitt „Zur Geschichte des Satzes der Erhaltung der Arbeit". An seiner Spitze hebt Mach

[2]) Den Titel „Die unabhängigen Realitäten" führt eine Abhandlung von A. Oelzelt-Newin in der Zeitschr. f. Philosophie und philos. Kritik 1906 (S. 113—135). — Hierzu meine den gleichen Titel führende Abhandlung in den Kant-Studien 1907 (S. 361—392), die in einzelnen Punkten zu vermitteln sucht zwischen jener Abhandlung Oelzelts und A. Meinongs „Die Erfahrungsgrundlagen unseres Wissens" (Abhandlungen zur Didaktik und Philosophie der Naturwissenschaft, I. Bd., Sonderheft 6 dieser Zeitschr.).

ausdrücklich hervor, daß er schon in der Überschrift von „Erhaltung der Arbeit" spreche, nicht von „Erhaltung der Kraft" (S. 45: „Man hat einen besonderen Wert darauf gelegt, daß die Summe des disponiblen Arbeitsvorrates und der lebendigen Kraft oder die Summe der Energie[3]), wie man auch noch zu sagen pflegt, sich als eine konstante Größe herausgestellt hat"). Die Thesen dieses ersten Hauptabschnittes lauten:

„Der Satz der Erhaltung der Arbeit pflegt in zweierlei Weise ausgedrückt zu werden:

1. $$\frac{1}{2}\Sigma m v^2 - \frac{1}{2}\Sigma m v_0^2 = \int \Sigma (X\,dx + Y\,dy + Z\,dz)$$

oder

2. Arbeit aus Nichts zu schaffen oder ein sogenanntes *perpetuum mobile* ist unmöglich.

Diesen Satz pflegt man gewöhnlich als die Blüte und Spitze der mechanischen Weltanschauung zu betrachten, als den höchsten und allgemeinsten Satz der Naturwissenschaft, zu dem erst eine mehrhundertjährige Gedankenarbeit hingeführt hat.

Ich will nun versuchen zu zeigen:

1. Daß dieser Satz namentlich in der zweiten Fassung keineswegs so neu ist, als man geneigt wäre zu glauben, daß vielmehr dieser Satz mehr oder weniger klar fast allen bedeutenden Forschern vorgeschwebt und seit der Stevin-Galileischen Epoche den wichtigsten Erweiterungen der physikalischen Wissenschaften zur Grundlage gedient hat.

2. Daß dieser Satz keineswegs mit der mechanischen Weltanschauung steht und fällt, sondern daß seine logische Wurzel vielmehr ungleich tiefer in unserm Geiste festgewachsen ist als jene Weltanschauung."

Es ist nicht nötig, hier die einzelnen schönen Beispiele, welche Mach zu seiner These 1 gesammelt hat, ausführlicher wiederzugeben, da sie durch seine späteren Werke, namentlich durch die „Mechanik" und die „Wärmelehre", Gemeingut Aller, also auch aller Physiklehrer, geworden sind. Es seien also nur einige der Namen in Erinnerung gebracht: Stevinus (1605, schiefe Ebene, Hydrostatik), Galilei, (schiefe Ebene, Pendel), Huygens (Schwingungsmittelpunkt), Torricelli (Ausflußgesetz) — ferner Joh. Bernoulli (1717, virtuelle Bewegung für beliebige Systeme), Lagrange, Poinsot, Gauß — sodann über die bisherigen mechanischen Anwendungen des Satzes vom ausgeschlossenen *perpetuum mobile* auf kalorische übergehend: S. Carnot (1824). Die von Carnot vertretene Voraussetzung von der Erhaltung der Wärmemengen während des Leistens mechanischer Arbeit verteidigt Mach gegen die allgemeine Meinung:

„Im Gegensatz zu Carnot fand Clausius, daß nicht bloß Wärme von höherem zum niederen Grad bei der Arbeitsleistung überströmt, sondern überhaupt welche verloren geht, und zwar ein Teil, der stets proportional ist der verrichteten Arbeit. Auf dieses Verschwinden der Wärme bei Leistung von Arbeit und die Bildung von Wärme bei Verbrauch von mechanischer Arbeit, welche Vorgänge auch durch die Betrachtungen von J. R. Mayer, Helmholtz, W. Thomson, sowie durch die Experimente von Rumford, Joule, Favre und Silbermann und viele andere bestätigt wurden, hat man nun ein besonderes Gewicht gelegt. Wir wollen später [S. 20 ff.] sehn, was es mit dem Verschwinden der Wärme bei Leistung von Arbeit für eine Bewandtnis hat."

Die Darstellung der Leistungen J. R. Mayers und Helmholtz' für „das Gesetz der Erhaltung der Kraft" (S. 17) und Bemerkungen zu einer Schrift von Wundt „Über physikalische Axiome" von 1866 (S. 18) leiten schon über zum zweiten Hauptabschnitt, „Die mechanische Physik" (S. 20—33).

[3]) Ein Vorschlag zur Terminologie [„Energie" = Arbeitskraft] soll bei anderer Gelegenheit folgen. — Vgl. einstweilen im Sonderheft „Zur gegenwärtigen Naturphilosophie" [s. u. Anm. 11] S. 27, 57, 83.

Dieser Abschnitt mit seinem Reichtum an ebenso geistreichen wie paradoxen Thesen war zur Zeit seiner ersten Veröffentlichung, der Blütezeit des kinetischen Materialismus, eine unerhört kühne Kriegserklärung, man könnte sagen, ein *bellum unius contra omnes* der damaligen Naturforscher — und heute ist er das Programm einer ganzen „Richtung", deren Hauptvertreter Mach im angeführten Vorwort aufgezählt hat. Er nennt sie noch immer „eine winzige Minorität". Dagegen charakterisiert sie M. Planck[4]) in der dort ebenfalls angeführten Schrift (S. 32) als

> eine „Richtung der Naturphilosophie", die gerade gegenwärtig unter der Führung von Ernst Mach sich großer Beliebtheit gerade in naturwissenschaftlichen Kreisen erfreut. Danach gibt es keine andere Realität als die eigenen Empfindungen, und alle Naturwissenschaft ist in letzter Linie nur eine ökonomische Anpassung unserer Gedanken an unsere Empfindungen, zu der wir durch den Kampf ums Dasein getrieben werden. Die Grenze zwischen Physischem und Psychischem ist lediglich eine praktische und konventionelle, die eigentlichen und einzigen Elemente der Welt sind die Empfindungen[5]).

Es wäre eine nicht uninteressante, weil das Verhältnis von Naturwissenschaft und Philosophie unserer Tage vielleicht in einem der charakteristischsten Punkte treffende Unternehmung, wenn man aus der einschlägigen Literatur seit dem Erscheinen der ersten Ausgabe von Machs Schrift (1872) bis heute die Zahl (wenn auch nicht schon, was ja unmöglich wäre, das Gewicht) der Stimmen von Physikern und Philosophen feststellen wollte, die sich ausdrücklich für und gegen Machs Phänomenalismus und seine wissenschaftliche Fruchtbarkeit erklärt haben. Wer weiß, ob sich nicht anstatt jener „verschwindenden Minorität" für die Gegenwart annähernd Stimmengleichheit ergäbe. Darf ich aus meiner Tätigkeit als Lehrer der Physik wie der Philosophie und Pädagogik urteilen, so hat innerhalb „der jüngeren Generation" Machs Philosophie zum mindesten die Wirkung gehabt, daß sie eine andere Philosophie beinahe überhaupt nicht mehr studieren mag. (Natürlich maße ich mir auch hier keine Statistik der gegenteiligen Fälle an.)

In der Tat findet man nun die Ansätze zu fast allen Leitgedanken des Machschen Phänomenalismus in der vorliegenden Schrift, und hier wieder insbesondere in deren zweitem Abschnitt, aus dem daher wieder einige markante Sätze im Wortlaut folgen sollen:

> „Die moderne mechanische Wärmetheorie und ihre Ansicht, daß die Wärme Bewegung sei, stützt sich hauptsächlich auf die Tatsache, daß die vorhandene Wärmemenge sich in dem Maße vermindert, als Arbeit geleistet wird, und in dem Maße sich vermehrt, als Arbeit verbraucht wird, welche nicht in einer andern Form erscheint. Ich sage, die moderne Wärmetheorie, denn es ist bekannt, daß die Erklärung der Wärme durch Bewegung mehr als einmal schon da war und wieder verschwunden ist." (S. 20)

Dem Schlusse „Wenn Wärme verschwindet in dem Maße, als sie Arbeit leistet, so kann sie kein Stoff sein, so muß sie Bewegung sein", geht Mach vor allem zu Leibe durch Gegenüberstellung von Analogien:

> „S. Carnot hat gefunden: Jedesmal, wenn Wärme Arbeit leistet, geht ein gewisses Wärmequantum von einem höhern auf ein tieferes Temperaturniveau über. Er nahm dabei an, die Menge der Wärme bleibe konstant.

---

[4]) Vgl. die Anzeige von Plancks Schrift in dieser Zeitschr. 1909, S. 124—126.

[5]) Es ist denkwürdig, daß Mach im Vorwort zu seiner „Physik für Mediziner" (1863) gesagt hatte: „Man wird . . . die verschiedenen Arten der Molekularvorgänge systematisch behandeln und es als bloß zufällig betrachten, ob sie als Licht gesehen, als Wärme empfunden, als Schall gehört werden. In der Tat ist ja die jetzt übliche Einteilung keine physikalische, sondern vielmehr eine physiologische." — Sollte dieser frühe Tadel durch Machs seitherige Abgrenzungen zwischen Physik, Physiologie und Psychologie gegenstandslos geworden sein? [Bedenken gegen Machs Definition der „Psychologie" vgl. in „Zur gegenwärtigen Naturphilosophie", Beilage II, S. 132.] — Auch Plancks Vortrag hebt diese und andere Mängel „der Einteilung des Systems der Physik" hervor.

Das einfache Analogon ist dies:

Wenn Wasser (etwa auf der Mühle) Arbeit leisten soll, so muß eine gewisse Quantität von einem höhern auf ein tieferes Niveau überfließen. Die Menge des Wassers bleibt hierbei konstant.

Wenn Holz in der Feuchtigkeit quillt, so kann es Arbeit leisten, z. B. Felsen sprengen. Und dazu haben es z. B. die alten Ägypter benützt. Leicht hätte nun ein ägyptischer Schlaukopf eine mechanische Nässetheorie aufstellen können. Wenn Nässe Arbeit leisten soll, muß sie von einem nässeren zu einem weniger nassen Körper übergehn. Selbstverständlich hätte der hieroglyphische Schlaukopf hinzufügen können: Die Menge der Nässe bleibt konstant.

Elektrizität kann Arbeit leisten, wenn dieselbe von einem Körper höherer Spannung (Potentialfunktion) auf einen Körper niederer Spannung (Potentialfunktion) überfließt. Die Menge der Elektrizität bleibt konstant.

Ein bewegter Körper kann Arbeit leisten, wenn er einem andern von geringerer Geschwindigkeit einen Teil seiner lebendigen Kraft überträgt. Lebendige Kraft kann Arbeit leisten, indem sie von einem höheren Geschwindigkeitsniveau auf ein niederes übergeht. Die lebendige Kraft vermindert sich hierbei.

Es würde nicht schwer sein, aus jedem Gebiet der Physik eine solche Analogie beizubringen. Mit Absicht habe ich die letzte so gewählt, daß sie hinkt."

Aber nicht etwa erst die Unentbehrlichkeit oder wenigstens Wahrscheinlichkeit der Hypothese, daß sich Wärme auf Bewegung „zurückführen" lasse, greift Mach an, sondern schon, daß Clausius eine Tatsache „gefunden" habe, wenn er der Vormeinung Carnots „die Menge der Wärme bleibt konstant" entgegenstellte, „die Menge der Wärme vermindert sich (proportional der geleisteten mechanischen Arbeit)". Durch eine Reihe weiterer Analogien sucht nämlich Mach zu zeigen, daß auch der Begriff der Menge (von Wärme, Wasser, Elektrizität) rein konventionell und historisch zufällig sei.

„„Die Menge des Wassers bleibt bei der Arbeitsleistung konstant, weil es ein Stoff ist.""

„„Die Menge der Wärme ändert sich, weil sie kein Stoff ist.""

Diese beiden Sätze werden den meisten Naturforschern einleuchten. Dennoch sind sie beide vollständig wertlos und nichtssagend. Dies wollen wir uns durch folgende Frage, die aufgeweckte Anfänger zuweilen an mich gerichtet haben, deutlich machen. Gibt es ein mechanisches Äquivalent der Elektrizität, so wie es ein mechanisches Äquivalent der Wärme gibt? Ja und nein! Es gibt kein mechanisches Äquivalent der Elektrizitätsmenge. Es gibt aber ein mechanisches Äquivalent des elektrischen Potentials.

Fügen wir noch eine Frage hinzu. Gibt es ein mechanisches Äquivalent des Wassers? Ein Äquivalent der Wassermenge nicht, wohl aber des Wassergewichts × Fallhöhe desselben.

Woher kommt nun diese Verschiedenheit unserer Vorstellung bei der Wärme und bei der Elektrizität? Sie hat lediglich historische Gründe, ist vollständig konventionell, ja, was noch mehr besagt, vollständig gleichgültig.

Zur Begründung dieses namentlich gegen den Mengen-Begriff[6]) sich richtenden Konventionalismus wird ausgeführt, daß Coulomb 1785 durch seine Drehwage das

[6]) Bekanntlich richtete sich diese Bemängelung des Wortes „Menge" namentlich gegen seine Verwendung in der Definition der Masse als „Menge der Materie". Auch ich finde sie in dieser Form nichtssagend und habe deshalb in meiner Physik (S. 61) und Naturlehre (S. 40) hinzugefügt: „gemessen nach dem Beharrungswiderstand"; wobei also der Begriff „Menge" nicht aufgegeben, wohl aber nach einem bestimmten Phänomen, letztlich dem „dritten Grundphänomen" der Mechanik, Spannung (vgl. „Physik", S. 802—804), quantitativ präzisiert ist. — Soeben stimmt Poske (Abhandlungen zur Didaktik und Philosophie der Naturwissenschaft, 2. Bd., Heft 5, „Die Zentrifugalkraft", S. 17) dieser meiner Ergänzung der sonst vagen Massen-Definition zu.

gemessen habe, was wir noch heute Elektrizitätsmenge (Ladungsmenge) nennen, dagegen Rieß 1838 durch sein Lufthermometer das Potential (Elektrizitätsgrad, Ladungsgrad). Mach fährt fort:

„Nun stellen wir uns einmal vor, das Rießsche Thermometer wäre früher erfunden worden als die Coulombsche Drehwage, was uns nicht schwer fallen kann, da ja beide Erfindungen voneinander unabhängig sind. Was wäre natürlicher gewesen, als daß man die Menge der in einer Flasche enthaltenen Elektrizität nach der im Thermometer produzierten Wärme geschätzt hätte? Dann würde aber diese sogenannte Elektrizitätsmenge sich vermindern bei Produktion von Wärme oder Arbeitsleistung, während sie jetzt unverändert bleibt, dann würde also die Elektrizität kein Stoff, sondern Bewegung sein, während sie jetzt noch ein Stoff ist. Es hat also einen bloß historischen und ganz zufälligen konventionellen Grund, wenn wir über die Elektrizität anders denken als über die Wärme.

So ist es auch mit andern physikalischen Dingen. Das Wasser verschwindet nicht bei Arbeitsleistungen. Warum? Weil wir die Menge des Wassers mit der Wage messen, ähnlich wie die Elektrizität. Denken wir aber, der Arbeitswert des Wassers würde Menge genannt und müßte also etwa mit der Mühle, statt mit der Wage gemessen werden, so würde die Menge in dem Maße verschwinden, als sie Arbeit leistet. — Nun wird man sich leicht vorstellen können, daß mancher Stoff nicht so leicht greifbar wäre wie das Wasser. Wir würden dann die eine Art der Messung mit der Wage gar nicht ausführen können, während uns manche andere Meßweisen unbenommen bleiben Vom Agens wissen wir nichts. Wir messen irgendeine Wirkung. Welche wir wählen, hat dann auf unsere Vorstellungen von diesem Agens Einfluß.

Bei der Wärme ist nun das historisch festgesetzte Maß der „Menge“ zufällig der Arbeitswert der Wärme[7]). Daher verschwindet er auch, wenn Arbeit geleistet wird. Daß die Wärme kein Stoff sei, folgt hieraus ebensowenig wie das Gegenteil.

Hätte jemand ein Vergnügen daran, sich auch heute noch die Wärme als Stoff zu denken, so könnte man ihm diesen unschuldigen Spaß immerhin gestatten. Er brauchte ja nur zu denken, daß dasjenige, was wir Wärmemenge nennen, das Potential eines Stoffes sei, dessen Menge unverändert bleibt, während das Potential sich ändert. In der Tat würden wir nach Analogie der übrigen physikalischen Bezeichnungen viel besser Wärmepotential[8]) als Wärmemenge sagen. . .

Wenn wir also die Entdeckung anstaunen, daß Wärme Bewegung sei, so staunen wir etwas an, was nie entdeckt worden ist. Es ist vollständig gleichgültig und hat nicht den geringsten wissenschaftlichen Wert, ob wir uns die Wärme als einen Stoff denken oder nicht.

Es folgt nun die berühmte Bekämpfung des Begriffes „Stoff“ überhaupt bis herunter in seine speziellsten Anwendungen z. B. in der Chemie. So S. 25:

„Stoff ist mögliche Erscheinung, ein passendes Wort für eine Gedankenlücke . .

Wenn wir Sauerstoff und Wasserstoff in einer Eudiometerröhre explodieren lassen, so verschwinden die Sauerstoff- und Wasserstofferscheinungen, und es treten dafür die Wassererscheinungen auf. Nun sagen wir, Wasser besteht aus Sauerstoff und Wasserstoff. Dieser Sauerstoff und Wasserstoff sind aber nichts als zwei beim Anblick des Wassers parat gehaltene Gedanken oder Namen für Erscheinungen, die nicht da sind,

---

[7]) In dem Aufsatze „Über den Unterricht in der Wärmelehre“, mit welchem Mach unsere Zeitschrift eröffnet hat (I, S. 3—7), wird „Wärmemenge“ ausschließlich definiert als „das Produkt mv“, wo m die [nach dem Gewicht gemessene] Masse, v die Temperatur ist. Also nicht etwa schon in der Definition eine Beziehung auf den „Arbeitswert“. — Sollte diese tatsächlich eben doch bestehende Beziehung zwischen Massen-, Temperatur- und Arbeitswert wirklich nur eine „zufällige“ sein?

[8]) Würde aber bei „Wärmepotential“ nicht jeder sogleich an „Wärmegrad“ (= Temperatur v) denken, neben dem ja die Wärmemenge immer noch eine berechtigte physikalische Größe (mv) bleibt, auch unabhängig von dem mit dem Mengen-Begriff mehr als nötig verquickten Stoff-(Substanz-)Begriff?

die aber jeden Augenblick wieder hervortreten können, wenn wir das Wasser zerlegen, wie man sich auszudrücken beliebt[9]).

Es ist mit dem Sauerstoff ganz so wie mit der latenten Wärme. Beide können hervortreten, wo sie im Augenblick noch nicht bemerkbar sind. Ist die latente Wärme kein Stoff, braucht es auch der Sauerstoff nicht zu sein.

Man wende mir nicht die Unzerstörbarkeit und Erhaltung der Materie ein. Sagen wir lieber Erhaltung des Gewichtes, so haben wir eine reine Tatsache und sehen sofort, daß diese mit keiner Theorie etwas zu schaffen hat."

Mit diesen — für mindestens die Hälfte der Naturforscher wohl heute noch verblüffenden — negativen Thesen ist aber Mach auch bei seiner positiven These angelangt

„daß es bei der Naturforschung nur auf die Erkenntnis des Zusammenhanges der Erscheinungen[10]) ankommt. Was wir hinter den Erscheinungen uns vorstellen, existiert eben nur in unserm Verstande, hat für uns nur den Wert einer Gedächtnishandhabe oder Formel, deren Gestalt, weil sie willkürlich und gleichgültig, sich sehr leicht mit unserem Kulturstandpunkt ändert." (S. 25 u. 26).

Es wäre vergeblich, der Entscheidung, welche künftig die Kultur-, spezieller die Wissenschaftsgeschichte und dann am Ende doch wohl nicht die Geschichte der Naturwissenschaft, sondern die Geschichte der Philosophie über den auf diesen Seiten

[9]) Ein Denkmal des Widerstandes, den solche Angriffe auf die elementarsten Begriffsbildungen der Physik und Chemie hervorgerufen haben, hat Boltzmann (Popul. Schriften, S. 247) in seinem übermütigen Wort geprägt: „Nun kamen gar noch die begrifflichen Kernbeißer. Sauerstoff und Wasserstoff existieren im Wasser nicht nebeneinander fort, sondern der begriffliche Kern unserer betreffenden Vorstellungen ist bloß, daß und in welchen Quantitäten sie wieder zum Vorschein kommen." Vorstehende Worte Boltzmanns [er ist der in Machs Vorwort gemeinte, „mit Recht berühmte, nun verstorbene Physiker"] dürften sich speziell beziehen auf die nachfolgenden von Mach (Wärmelehre 1896, S. 429): „Es wird ohne Zweifel möglich sein, so wie aus der Blackschen Stoffvorstellung auch aus der Atomistik den wesentlichen, Tatsächliches darstellenden begrifflichen Kern herauszuschälen und die überflüssigen Nebenvorstellungen abzuwerfen. Zu diesem Tatsächlichen gehört die Darstellung der bestimmten Verbindungsgewichte und der multiplen Proportionen. Nur mit etwas Gewalt [es ist wohl Avogadros „Gesetz" gemeint] werden auch die einfachen Volumverhältnisse der Verbindungen dargestellt . . ."

So befremdend noch heute für die meisten Chemiker und Chemielehrer die Zumutung ist, auf Atome oder auf ebensolche, nur noch kleinere Elektronen, Uratome u. dgl. nicht nur als auf letzte „Wirklichkeitsklümpchen" (wie einst Liebmann sagte) zu verzichten, sondern überhaupt auf alle Substanzvorstellungen (ohne die ja auch z. B. die Wirbelringe W. Thomsons — der sagte: „*I do not belief into atoms*" — nicht wohl gedacht werden), so gilt doch die Forderung: auf den begrifflichen Kern aller Atomhypothesen (und künftig, wenn es mathematisch durchgearbeitete Kontinuitäts-Hypothesen geben wird, füglich ebenso auf ihren „begrifflichen Kern") zurückzugehen, gerade am allermeisten für den elementarsten Chemieunterricht. Weiß sich aber dieser frei von allem Vorwurf, daß er allzubald und ohne halbwegs ausreichende Fundierung in bestimmten Tatsachen den Schülern die Atome (und bald darauf Avogadros Hypothese) sozusagen als Dogmen an den Kopf wirft? — So ist also auch dieses Machsche Paradoxon nicht ohne didaktische Bedeutung.

[10]) Daß schon allein mit dem Wort „Erscheinung" ein ganzer Knäuel rein philosophischer (psychologischer, erkenntnistheoretischer usw.) Fragen aufgerollt, aber leider nichts weniger als aufgelöst ist, weiß jeder der Philosophie und ihrer Geschichte Kundige; schon die noch immer nicht ausgetragene Frage, ob Kant bei seiner Gegenüberstellung von „Erscheinung" und „Ding an sich" nur die „Erkennbarkeit" der letzteren geleugnet, dagegen an ihr „Dasein" geglaubt oder aber es auch geleugnet habe, ist ein leidiges Beispiel dafür. — Indem Mach alles „hinter den Erscheinungen" leugnet, hat er sich also metaphysisch viel stärker engagiert als selbst der von ihm heftig bekämpfte Kant. Daß solche Antimetaphysik unter, nicht außer den Begriff der Metaphysik fällt, ist gegenwärtig seitens der Philosophen allgemein erkannt und anerkannt. — Was dagegen die Physiker brauchen, ist Ametaphysik (wie in der Medizin die — um die Zeit von Machs Antimetaphysik erfundene — „Antisepsis" schon wieder der Asepsis gewichen ist).

25 und 26 proklamierten Phänomenalismus fällen werden, heute schon vorgreifen zu wollen. Aber Freund wie Feind dieser Philosophie wird dankbar dafür sein, daß er Klarheit wie Unklarheit dieser Lehre in diesem Mittelpunkt des knappen Heftchens wie in einem Brennpunkt gesammelt findet, von dem dann die hellen wie die dunklen Strahlen phänomenalistischen Geistes sich wieder weiter ausbreiten.

Vielleicht ziemt es dieser Zeitschrift, die ja keine philosophische, sondern ausschließlich eine für den physikalischen und chemischen Unterricht ist, wenn wir (die nun folgenden harten Worte gegen „mehrtausendjährige Verkehrtheiten" und „verrückte und überlebte Vorstellungen", nämlich einiger Philosophen des Altertums und der neuesten Zeit, übergehend) einen rein mathematisch-physikalisch-chemischen Vorschlag Machs zur Modifikation atomistischer Vorstellungen hier nur daraufhin prüfen, ob er denn mit Machs sonstigem Phänomenalismus noch in Einklang zu bringen sei. Diese Zwischenbetrachtung setzt ein mit der These S. 27: „Es liegt keine Notwendigkeit vor, sich das bloß Gedachte räumlich, d. h. mit den Beziehungen des Sichtbaren und Tastbaren, zu denken." Statt des z. B. beim Bau der Atome und Moleküle gewöhnlich vorausgesetzten 3-dimensionalen Raumes nimmt Mach einen n-dimensionalen in Aussicht (dies, wie die Note S. 54 hervorhebt, noch vor Riemanns Abhandlung von 1867). Heute ist uns bekanntlich der freieste Gebrauch solcher beliebig vielfachen „Mannigfaltigkeiten" (für die es dann gegenstandtheoretisch und logisch ganz unwesentlich ist, ob sie psychologisch zu veranschaulichen sind oder für uns unschaulich bleiben müssen) allenthalben geläufig geworden. Auch der Satz auf S. 30 „Die bei einer Verbindung erzeugte Verbrennungswärme gibt uns eine deutlichere Vorstellung von der Stabilität und Art der Verbindung als irgendeine bildliche Darstellung" liest sich heute wie eine Prophezeiung der vor vier Jahrzehnten wohl noch kaum geahnten Tatsache, daß die Chemie nicht aus der damals erhofften Mechanik der Atome, sondern aus der Thermodynamik[11]) die reichsten Anregungen zur Fortentwicklung empfangen hat; so daß auch der Vorschlag zu „einer rationelleren

[11]) Neuestens schreibt Chwolson in seiner (auch an erkenntnistheoretischen Zwischenbetrachtungen reichen) „Physik" (IV. Bd. [Elektrizität], Erste Hälfte, S. 161): „Die Thermodynamik ermöglicht es zwar, einige gesetzmäßige Beziehungen zwischen den Größen zu finden, welche bei den unmittelbar beobachteten Erscheinungen diese oder jene Rolle spielen, sie vermag aber keine Auskunft über den Charakter derjenigen Elemente zu geben, deren vereinte Wirkung die Quelle einer gegebenen Erscheinung bildet." Wenn dann später (S. 653) Chwolson sagt: „M. Planck (1902) hat in einer sehr interessanten Arbeit gezeigt, welche Eigenschaften der Lösungen (hierbei auch solche, die sich auf die Elektrolyse beziehen), unabhängig von der Dissoziationstheorie, auf Grund der Prinzipien der Thermodynamik streng abgeleitet werden und daher nicht dem geringsten Zweifel unterliegen können", so ist dies ein Beleg dafür, wie auch die Verteidiger und Förderer des „Erklärens" sich sehr wohl Rechenschaft darüber ablegen, wo auch schon eine von Erklärungen unabhängige „Beschreibung" physikalische Erfolge zeitigt. Da also die mathematischen Physiker beidem, dem „Erklären" wie dem notwendig vorausgehenden „Beschreiben" sein Recht lassen, die Phänomenalisten dem Erklären alles Recht absprechen, so sind wieder gerade letztere, die vermeintlich Voraussetzungslosen, wie der Metaphysik gegenüber (vgl. oben S. 9, Anm.), auch der Erkenntnistheorie gegenüber die stärker und einseitiger Engagierten.

Als weiteren Beleg dafür, daß nicht etwa bloß die Phänomenalisten zwischen Tatsache und Hypothesen zu unterscheiden wissen, sei von unzähligen dahinzielenden Äußerungen Boltzmanns folgende angeführt [„Über die Entwickelung der Methoden der theoretischen Physik in neuerer Zeit", Popul. Vorl., S. 217]: „Robert Mayer bekannte sich übrigens keineswegs zur Ansicht, daß die Wärme Molekularbewegung sei, er hielt sie vielmehr für eine vollständig neue Energieform und behauptete nur ihre Äquivalenz mit der mechanischen Energie. Auch die Physiker, welche der ersten Ansicht huldigten, vor allen Clausius, unterschieden strenge zwischen den Sätzen, welche allein aus ihr folgen, der speziellen Thermodynamik, und denen, welche unabhängig von jeder Hypothese über die Natur der Wärme aus feststehenden Erfahrungstatsachen abgeleitet werden können, der allgemeinen Thermodynamik."

Schreibweise der chemischen Verbindungen" (S. 30) heute erst recht aktuell sein mag (wenn er nicht vielleicht doch wieder von der Elektronenlehre überholt ist).

Aber — ist die hier vorgeschlagene Emanzipation von den Anschauungen der Sinne, vom „Sichtbaren und Tastbaren" und das Appellieren an die unbegrenzten weiteren Mannigfaltigkeiten bloßer Denkgegenstände noch vereinbar mit dem sonstigen Programm des Phänomenalismus? Darf sich dieser eine solche Flucht aus dem Reiche der „Phänomena" in das der „Noumena" (Kant) auch nur vorübergehend gestatten? Wird nicht mit ungleichem Maße zuungunsten der mechanischen Physik gemessen, wenn es wenige Zeilen vor der angeführten Einführung n-dimensionaler Mannigfaltigkeiten unanschaulicher Art geheißen hatte:

> „Allein nehmen wir einen Augenblick an, alle physikalischen Vorgänge ließen sich auf räumliche Bewegungen von materiellen Teilchen (Molekülen) zurückführen. Was tun wir damit? Wir nehmen damit an, daß Dinge, die nie gesehen, nie getastet werden können, die überhaupt nur in unserer Phantasie und unserem Verstande existieren, daß diese nur mit den Eigenschaften und Beziehungen des Tastbaren behaftet sein können. Wir legen dem Gedachten die Beschränkungen des Gesehenen und Getasteten auf."

Auch wer heute noch keine Hoffnung hegt, daß für ein Vermitteln zwischen den Parteien der Phänomenalisten und der mathematischen Naturforscher schon die Zeit gekommen sei, darf es einer objektiven Abwägung fähig halten, ob nicht folgendes eine natürliche Stufenleiter vom Anschaulichsten bis zum Unanschaulichsten sei: das Zusammensetzen der gesamten (physischen) „Realität"

1. aus Sinnesempfindungen („Elementen" nach Avenarius und Mach);
2. aus den zwar nicht direkt sicht- und tastbaren, aber doch nur mit den sonst uns aus Sinnesempfindungen bekannten Qualitäten und Intensitäten ausgestattet gedachten Molekülen, Atomen, Elektronen und allenfalls noch Ätherteilchen;
3. nebst den Eigenschaften und Dingen nach 1. und 2. auch noch allem Metaphänomenalen[12]) und Noumenalen, das man sich ausdrücklich aller Sinnesqualitäten bar denkt (von allem psychisch Phänomenalen und Metaphänomenalen innerhalb der Physik ganz abgesehen), das aber nötig scheint, um zwischen den Erscheinungen mittelbare Zusammenhänge dort denkbar zu machen, wo unmittelbare in der Anschauung nicht aufzuweisen sind.

Nicht nur, daß unsere Erkenntnis (d. h. evidentes Beurteilen), sondern daß auch nur irgendwie klares Vorstellen bis zu jener Stufe 3 jemals hinanreiche, leugnet der Antimetaphysiker Mach. In wie großem und scharfem Gegensatz Mach aber auch gegen die Mechanistik unserer Tage, nämlich auch schon gegen das unter 2. bezeichnete „Zwischenreich physikalischer Realitäten"[13]) steht, spricht Planck (a. a. O, S. 33) dahin aus,

> „daß die Angriffe, welche von jener Seite her gegen die atomistischen Hypothesen und gegen die Elektronen-Theorie gerichtet werden, unberechtigt und unhaltbar sind. Ja, ich möchte ihnen geradezu die Behauptung entgegensetzen, — und ich weiß, daß ich damit nicht alleinstehe —: die Atome, so wenig wir von ihren näheren Eigenschaften wissen, sind nicht mehr und nicht weniger real als die Himmelskörper oder als die

[12]) Vgl. zu diesem von Dr. Joseph Breuer geprägten Ausdruck die „Beilage 1" meiner Abhandlung „Zur gegenwärtigen Naturphilosophie" (Abh. z. Didaktik u. Philos. der Naturwissenschaft, Sonderheft 2 d. I. Bds.), S. 131.

[13]) Vgl. zu diesem Ausdruck S. 114 der in der vorigen Anmerkung angeführten Abhandlung „Zur gegenwärtigen Naturphilosophie". Auch wieder Poske in dem oben S. 7, Anmerkung, erwähnten Sonderheft („Die Zentrifugalkraft") S. 46, Anmerkung.

uns umgebenden irdischen Objekte; und wenn ich sage: ein Wasserstoffatom wiegt $1{,}6 \cdot 10^{-24}$ g, so enthält dieser Satz keine geringere Art von Erkenntnis wie der, daß der Mond $7 \cdot 10^{25}$ g wiegt. Freilich kann ich ein Wasserstoffatom weder auf die Wagschale legen, noch kann ich es überhaupt sehen, aber den Mond kann ich auch nicht auf die Wagschale legen, und was das Sehen betrifft, so gibt es bekanntlich auch unsichtbare Himmelskörper, deren Masse mehr oder weniger genau gemessen ist . . .

Es bleibt uns noch übrig, zu fragen, woher es denn kommt, daß die Machsche Erkenntnistheorie eine so große Verbreitung unter den Naturforschern gefunden hat. Täusche ich mich nicht, so bedeutet sie im Grunde eine Art Reaktion gegen die stolzen Erwartungen[14]), die man vor einem Menschenalter im Gefolge der Entdeckung des Energieprinzips an die speziell mechanische Naturanschauung geknüpft hatte . . . Ein philosophischer Niederschlag der unausbleiblichen Ernüchterung war der Machsche Positivismus. Ihm gebührt in vollem Maße das Verdienst, angesichts der drohenden Skepsis den einzig legitimen Ausgangspunkt aller Naturforschung in den Sinnesempfindungen wiedergefunden zu haben. Aber er schießt über das Ziel hinaus, indem er mit dem mechanischen Weltbild zugleich das physikalische Weltbild überhaupt degradiert "

In diesen heute noch ganz unversöhnten Kampf zwischen zwei Richtungen von Physikern — oder nur zwischen einem Teil der Physiker und einer bestimmten erkenntnistheoretischen Richtung? — sehen sich auch die Physiklehrer unserer Tage hineingezogen. Wird sich unter solchen Umständen auch nur der Schulunterricht unbeeinflußt erhalten können von dem jeweiligen Bekenntnis des Lehrers zu der einen oder anderen Richtung? Denn ohne besonnenste Stellungnahme zu den Gründen und Gegengründen der einen und der anderen Partei ist nicht einmal das Freihalten von bloßen Dogmen[15]) erkenntnistheoretischer Art möglich; sicher-

[14]) Daß in den Kreisen der wirklich produktiven, die mathematische Physik selbst ausbauenden Forscher die „Erwartungen" niemals mit letzten Erfüllungen verwechselt worden sind, bezeugen in einem denkwürdigen Beispiel Lord Kelvins „Vorlesungen über Molekular-Dynamik und Theorie des Lichts" (soeben deutsch herausgegeben von Weinstein, Teubner 1909, 590 Seiten). Hier führt z. B. der Anhang B (S. 408—440) den Titel „Wolken über der mechanischen Theorie der Wärme und des Lichts im neunzehnten Jahrhundert". Und in den Untertiteln lesen wir „Die erste Wolke ist nicht vollständig zerstreut" . . . „Der Clausiussche Satz und die Boltzmann-Maxwellsche Theorie; die letztere läßt sich nicht mit der Wahrheit über die spezifischen Wärmen von Gasen vereinen" und schließlich: „Der einfachste Weg, sich von den Schwierigkeiten zu befreien, besteht darin, die Theorie zu verlassen und so die zweite Wolke zu zerstreuen".

[15]) Freilich ist nicht einmal von Dogmen rein physikalischen Inhalts oder wenigstens von der dogmatischen Form ihrer Einführung und Darstellung der Physikunterricht schon allenthalben gesäubert. Noch nicht überall sind die „Allgemeinen Eigenschaften" aus den Einleitungen unserer Physikbücher verschwunden, wo z. B. schon auf Seite 3 die Formel für das Gravitationsgesetz einstweilen „zu glauben aufgegeben" wird; wie denn auch später dieses Newtonsche Gesetz vor den Keplerschen behandelt wird. — Speziell zum Hauptthema des Machschen Heftchens, der Mechanistik und Atomistik, sei wieder daran erinnert, wieviele Schulbücher noch immer z. B. die kinetische Wärmehypothese vor der ganzen Wärmelehre darstellen, damit sie aus dieser Hypothese erst später die Tatsachen deduzieren können, statt aus den Tatsachen die Hypothese als eine wenigstens wahrscheinliche zu induzieren. So finden es auch die neuesten österreichischen Lehrpläne 1908, 1909 wieder geschmackvoll, die „Lichthypothesen" vor der ganzen Optik zu besprechen. Mag man zur Entschuldigung anführen, daß ja die Lichterscheinungen dem Schüler immerhin im ganzen Großen schon vor Darstellung der wissenschaftlichen Optik bekannt seien, so kommt der Schüler bei solcher verkehrten Anordnung doch zum mindesten um allen logischen Gewinn aus der prüfenden Vergleichung der Leistungsfähigkeit der Emissions- und Undulationshypothese für die Erklärung feinerer quantitativer Tatsachen, wie z. B. des Brechungsexponenten 4/3 zwischen Luft und Wasser (vergl. in meiner „Physik" und „Oberstufe der Naturlehre" den Abschnitt „C. Erklärung der einfachsten Lichterscheinungen aus der Wellenlehre").

Gegen so eingerostete Mißbräuche und Gefährdungen des gesunden logischen Denkens unserer Schüler durch eine antilogische, nämlich das Verhältnis von Induktion und Deduktion umkehrende

lich aber ist mindestens ein solches Freibleiben die erste, wenn auch negative Forderung, die man an die Korrektheit eines physikalischen Unterrichtes in philosophischer Hinsicht stellen muß. —

Wesentlich philosophischer Art sind nun alle weiteren Betrachtungen der Schrift Machs von den Worten an (S. 30): „Es sei mir erlaubt, eine Ansicht über wissenschaftliche Theorien überhaupt hinzuzufügen.“ Es darf daher hierüber an dieser — nicht philosophischen, sondern physikalisch-didaktischen — Stelle nur mehr in Andeutungen berichtet werden.

Ein „Gesetz“ wie die Fallformel $s = {}^1/_2\, g\, t^2$ habe „nicht im mindesten mehr sachlichen Wert“, als eine Tabelle von Zahlwerten der zusammengehörigen s und t. Nur weil ihr Merken ein „riesiges Gedächtnis“ erfordern würde, so hat das Gesetz einen „ökonomischen“ Wert, den der „Bequemlichkeit des Gebrauchs“. (Von zahl-

Darstellung unserer Physikbücher ist nun Machs Bekämpfung aller solchen mechanistischen Hypothesen überhaupt, wenn sie auch rein wissenschaftlich viel zu weit gehen sollte, doch ein wirksames didaktisches Gegengift: Denn wäre in einem Physiklehrbuch- oder Physiklehrplan-Verfasser einmal der heilsame Zweifel erweckt, ob denn diese ganze kinetische Wärmehypothese nicht doch vielleicht überhaupt wissenschaftlich gegenstandslos sei, so würde er sie am allerwenigsten an der Spitze des Kapitels den Schülern „zu glauben aufgeben“.

In meiner „Physik“ und „Naturlehre (Oberstufe)“ habe ich, solchen leidigen Traditionen unseres Physikunterrichtes stracks entgegen, überall die ganzen Kapitel hindurch zuerst die Tatsachen der Reihe nach unabhängig von allen Hypothesen dargestellt und diese dann zum Schluß nachfolgen lassen; was didaktisch überdies den Vorteil gewährt, daß, indem hinterher wirklich aus der Theorie die Tatsachen wieder deduziert werden können, diese Tatsachen selbst dem Schüler noch einmal in gedanklichem und sachlichem Zusammenhange wiederholend, zum Teil auch ergänzend, von einer neuen Seite her entgegentreten. Diese grundsätzliche Neuerung des logisch-didaktischen Aufbaus ist in allen Besprechungen meiner Bücher als Fortschritt sozusagen theoretisch anerkannt worden; ob sie praktisch der Verwendung der Bücher im Unterricht selbst nicht eher hinderlich als förderlich gewesen ist, möchte ich einstweilen noch nicht abwägen. —

Unter solchen Umständen habe ich mit um so mehr Vergnügen gesehen, daß z. B. auch unser neuestes großes „Lehrbuch der Physik“ von Grimsehl dieselben Grundsätze vertritt, und es sei gestattet, aus seiner Vorrede die folgenden Schlußworte hierherzusetzen:

„Ich habe mich . . bemüht, an allen Stellen zwischen Erfahrungstatsachen und Hypothesen genau zu unterscheiden und diesen Unterschied möglichst scharf hervorzuheben. Die Folge der Popularisierung der Physik ist leider meist eine Verflachung der exakten physikalischen Bildung, indem der popularisierende Vortragende lieber die abgerundet erscheinenden Hypothesen und Theorien voranstellt und aus ihnen deduktiv die Erfahrungstatsachen oder auch nur fingierte Tatsachen ableitet, als daß er den Zuhörer auf dem mühsamen Weg der wissenschaftlichen Forschung führt und ihm so genau zeigt, wieweit unsere Schlüsse über gewisse unbekannte Dinge berechtigt sind. Ein Lehrbuch soll dieses Verfahren nicht mitmachen.“

Hat aber so Machs Warnung vor einem Vermischen von Tatsache und Hypothese (die er im Schriftchen z. B. S. 17 durch Worte Robert Mayers einschärft) durch die Physikbuchliteratur endlich auch in den Schulunterricht einzudringen angefangen, wenn auch noch unter manchem passiven Widerstande (wogegen z. B. Paul Reis' sonst so vielfach gutes Lehrbuch konsequent die kinetischen Theorien den Tatsachen vorangestellt hatte), so folgt meines Wissens doch noch kein einziges Physiklehrbuch Machs weitergehender Forderung eines grundsätzlichen Verzichtes auf alles „Erklären“.

Und um diese unsere Praxis des Unterrichts schließlich auch wieder durch ein Beispiel von der Praxis der Wissenschaft aus neuester Zeit zu rechtfertigen: Die Curies haben nach rühmlicher Eröffnung aller Radiumforschung die Tatsachen der Radioaktivität mit rein phänomenologischer Vorurteilslosigkeit beschrieben. Aber erst die kecken Erklärungen der radioaktiven Erscheinungen durch Rutherford und Soddy haben die Kenntnis dieser Tatsachen selbst wieder mächtig erweitert (z. B. um die acht sukzessiven „Zerfallsprodukte“ des Radiums). Als kürzlich Prof. Egon v. Schweidler dies in einem Vortrage „Die Theorie der Radioaktivität und ihre allgemeine Bedeutung“ in der Philosophischen Gesellschaft a. d. Universität zu Wien lichtvoll und unparteiisch darlegte, erinnerte es mich an das letzte Wort in Plancks Schriftchen: „An ihren Früchten sollt ihr sie erkennen.“

reichen Bedenken gegen eine solche Herabsetzung der „Gesetze“ nur eines: Warum sind wir, sobald z. B. das Gesetz $s = a t^2$ gefunden ist, so sehr gleichgültig gegen die Spezialwerte der Variablen s und t, aus denen es induziert worden war?)

Ebenfalls nur ökonomischer (also nach obigen Worten „nicht sachlicher“) Natur sei die „andere Aufgabe der Naturwissenschaft . ., die komplizierteren Tatsachen in möglichst wenige und möglichst einfache zu zerlegen. Dies nennen wir erklären“ (S. 31).

Man sieht, wie in der Tat das Heftchen die Wurzeln birgt für die aufsehenerregenden und zu einer in philosophischen Dingen sonst fast beispiellosen Popularität gelangten Thesen von der „Denkökonomie“ und vom „Nur-beschreiben, nicht erklären“[16]).

Der dritte und letzte Abschnitt (S. 33—46) führt einen selbst schon aus der Physik in die Logik, also wieder in eine philosophische Disziplin weisenden Titel „Die logische Wurzel des Satzes vom ausgeschlossenen perpetuum mobile“. Überraschend ist hier, daß Mach diese Wurzel im Kausalgesetz findet, das er hier als „die Grundlage der naturwissenschaftlichen Logik“ (S. 34) bezeichnet und (S. 35) so formuliert: „Das Kausalgesetz ist also hinreichend charakterisiert, wenn man sagt, es setzte eine Abhängigkeit der Erscheinungen voneinander voraus.“ Und (S. 37): „Nennen wir die Gesamtheit der Erscheinungen, von denen eine Erscheinung als abhängig betrachtet werden kann, die Ursache von a. Wenn diese Gesamtheit gegeben ist, so ist a bestimmt, und zwar eindeutig bestimmt.“ Es ist allbekannt, daß Mach später das Kausalgesetz aus der Wissenschaft zu verbannen und die reale Abhängigkeit[17]) durch eine gleichsam bloß mathematische (wie wir nämlich an einer Kurve die Ordinaten als „abhängig veränderlich“ bezeichnen) zu ersetzen versucht hat. Als Grund für diese Umdeutung des Begriffes „Abhängigheit“ und für die Ausschaltung des Begriffes „Ursache“ hat Mach seine „Unklarheit“, ja seinen fetischartigen Charakter behauptet. Es ist aber angesichts der beiden mitgeteilten Definitionen festzuhalten, daß sie von solchen unlogischen Mängeln und Zutaten völlig frei gewesen waren und zahlreichen Logikern und Metaphysikern der Gegenwart noch als einwandfrei gelten (u. a. auch mir, vgl. meine Logik, § 27). — Ebenso das Auseinanderhalten des allgemeinen Kausalgesetzes, das uns (auch nach Mach, S. 37 u. a.) *a priori* einleuchtet, von den speziellen Kausalgesetzen, deren Inhalt nur durch Empirie festzustellen ist (vgl. z. B. meine Logik, § 76).

[16]) Da man für das Wort vom „bloßen Beschreiben“ fast immer Kirchhoff verantwortlich macht (den auch Mach im angeführten „Vorwort“ als „Lichtblick“ nennt), so ist folgende Mitteilung Machs („Wärmelehre“ 1896, S. 404) geschichtlich und sachlich bedeutsam: „Es ist bekannt, daß in neuerer Zeit wieder Kirchhoff die Tätigkeit des Naturforschers als eine rein deskriptive aufgefaßt, und ebenso, daß diese Auffassung mancherlei Bedenken begegnet ist. Nicht unwahrscheinlich ist es allerdings, daß Kirchhoffs Ansicht, der zu eingehenden erkenntniskritischen Erörterungen keine Zeit fand, auf einem bloßen Aperçu beruhte, denn in einem Gespräch mit F. Neumann unterließ er es, dieselbe energisch zu vertreten.“

[17]) Auch alle die Natur der Abhängigkeits- oder Notwendigkeitsrelation (vgl. meine Logik § 25 und § 47, wo ich sie als α-Rel. bezeichne, so daß z. B. die Formel für das Verhältnis von Grund und Folge $G \alpha F$ [§ 58], für Ursache und Wirkung $U \alpha W$ lautet) betreffende fachmäßige Untersuchung geht allenthalben über deren spezielle Anwendungen in der Physik hinaus und gehört einer philosophischen Disziplin, der Relationstheorie, an (die selbst wieder ein Teil der „Gegenstandstheorie“ ist). Einiges über die von Mach geleugnete Naturnotwendigkeit neben bloßer Denknotwendigkeit vgl. in meinen „Studien zur gegenwärtigen Philosophie der Mechanik“ (Johann Ambrosius Barth 1900) S. 47 ff. — Eine Einschränkung meines obigen Anschlusses an Machs Fassung des Kausalbegriffes und Kausalgesetzes ist allerdings nötig wieder in bezug auf den Ausdruck „Erscheinung“ (vgl. oben S. 9, Anm. 10), nämlich: Ist es richtig, daß, damit etwas Teilursache eines Vorganges werden kann, es selber Erscheinung sein, „in die Erscheinung getreten“ sein muß? Z. B. „Kräfte“ (einschließlich „Energie“) sind unwahrnehmbare, niemals phänomenale Teilursachen (vgl. meine Logik, § 28).

Mach erläutert dies am „Satz des [sc. mangelnden] zureichenden Grundes"; es werden die berühmten Anwendungen besprochen, die z. B. schon Archimedes für das Hebelgesetz und die man später auf das Fehlen einer Resultierenden beim Kräftepaar u. dgl. gemacht hat. Auch hier ist die scharfe und gerechte Kritik, die Mach an der Tragweite solcher „Beweise" übt, und die er später in der „Mechanik" noch vielseitig bereichert hat, auch für den Unterricht überaus beherzigenswert, nämlich schon als Warnung vor der „Beweis"-Wut des einstigen formalistischen Physikunterrichts überhaupt.

Welche grundlegende Bedeutung aber diese logischen Untersuchungen zum besonderen Gegenstand der Schrift, zur „Wurzel des Satzes von der Erhaltung der Arbeit" haben, sagt deren letzte Seite (S. 46): „Ich glaube hiermit gezeigt zu haben, daß der Satz vom ausgeschlossenen perpetuum mobile bloß eine besondere Form des Kausalgesetzes ist, welches sich unmittelbar aus der jeder wissenschaftlichen Untersuchung vorausgehenden Annahme der Abhängigkeit der Erscheinungen voneinander ergibt . ." — Meinerseits muß ich gestehen, daß ich hier der bloßen „Logik" weniger zutraue als Mach: Der Energiesatz scheint mir, unbeschadet seiner großartigen Allgemeinheit, doch noch zu den speziellen Kausalgesetzen zu gehören, und aus dem allgemeinen Kausalgesetz ebensowenig restlos deduzierbar zu sein, wie z. B. das Trägheitsgesetz, mit dem das so oft und immer mit nur scheinbarem Erfolg unternommen worden ist (ebenso der Satz vom Kräfteparallelogramm). —

Auch die „Noten" (S. 46—58) enthalten noch Ansätze und Ausführungen später berühmt gewordener Machscher Lehren. So 1) die dem Trägheitsgesetz vorgeworfene „große Unbestimmtheit" wegen Nichtberücksichtigung der Relativität[18]) der Bewegung; 2) die Definition der Masse $m/m' = -\varphi'/\varphi$; 3) die Erweiterung des zweiten Hauptsatzes der mechanischen Wärmetheorie auch auf andere Naturerscheinungen (indem man z. B. „an die Stelle der Wärmemenge das Potential, an die Stelle der absoluten Temperatur aber die Potentialfunktion setzt", S. 54).

Über anderes, wie die Ersetzung aller „Zeit" durch den „Drehungswinkel der Erde", müssen wir hier hinweggehen, da sich gegen solches Hinwegdeuten der phänomenalen Zeit der Bedenken allzu viele aufdrängten (z. B. wenn eine Zeitstrecke nur ein Drehungswinkel der Erde ist, warum ist dann nicht auch eine Stromstärke ein Winkel am Galvanometer?). Ich habe in anderem Zusammenhang vor solchem „Zurückführen" um jeden Preis gewarnt, indem ich Newtons bekanntes Wort: „*Entia non sunt multiplicanda praeter necessitatem*" travestierte in „*Phaenomena non sunt minuenda praeter possibilitatem*". Man müßte alle späteren Bücher Machs, namentlich auch z. B. die „Analyse der Empfindungen" in ihren verschiedenen Auflagen durchgehen, um zu überblicken, inwieweit Mach dem Raum und der Zeit ihren unmittelbar phänomenalen Charakter zurückgibt oder anders umdeutet.

Durften schon diese wenigen Betrachtungen über das an Umfang knappe, an Inhalt überreiche Frühwerk des Mitbegründers dieser Zeitschrift nicht verhehlen, daß dieser Inhalt nichts weniger als „die Würde und Unantastbarkeit eines päpstlichen Ausspruches" (wie nach Machs Worten, S. 47, seit Newton das Trägheitsgesetz) beansprucht, so mögen auf jeden Fall auch die von ihm ausgehenden Impulse das physikalische und philosophische Denken unserer Leser in so lebhafte Bewegung nach den verschiedensten Richtungen versetzen, wie sie — nach der durch unser Schriftchen so hart verdammten Lehre — — den kleinsten Teilchen unserer Körperwelt zukommt.

[18]) Auch der Glanz des Dogmas von der Relativität aller Bewegung scheint neuestens zu verbleichen. Vgl. u. a. Philipp Frank „Die Stellung des Relativitätsprinzips im System der Mechanik und der Elektrodynamik", Sitzungsberichte d. Kais. Akademie d. Wiss. in Wien, Bd. CXVIII, 1909; ferner Georg Hamel, „Über Raum, Zeit und Kraft, als apriorische Formen der Mechanik", Jahresbericht der Deutschen Mathematiker-Vereinigung, XVIII, 1909, Heft 7/8.

Läßt aber der durch das Heftchen angeregte Rückblick auf eine fast vierzigjährige Geschichte von Ansätzen des physikalischen Denkens zur Klärung seiner philosophischen Voraussetzungen[19]) kaum schon eine andere Diagnose stellen, als daß in unserer Gegenwart einstweilen noch eine fast anarchische Ungeklärtheit in eben diesen Grenzfragen zweier großer Wissenschaften herrsche — wie mag es da vollends um die Prognose künftiger Klärung bestellt sein? Wir haben diese Prognose nicht von der „Geschichte", sondern letztlich doch wieder nur von dem Zurückgehen auf die gemeinschaftliche „Wurzel" zweier so großen und nach verschiedenen Richtungen auseinandergehenden Geistesbetätigungen, wie es Physik und Philosophie sind, zu erwarten. Die Größe dieses Gegensatzes hat ja Mach selbst in den letzten Sätzen des eingangs wiedergegebenen Vorwortes charakterisiert; und der Gegensatz kann sich nur vergrößern, wenn wir das dortige Wort „Spezialforschung" noch spezialisieren zu „Physik", dagegen „Erkenntnistheorie" erweitern zu „Philosophie"; worauf dann der Machsche Gedanke lautet: „Die Physik beansprucht eben einen ganzen Mann, die Philosophie aber auch." — Meinerseits wundere ich mich schon jahrzehntelang darüber, warum die Physiker, wenn sie Bedürfnis nach erkenntnistheoretischer (einschließlich psychologischer, logischer, metaphysischer, ametaphysischer und antimetaphysischer) Reflexion über ihre so glänzend bewährte Erkenntnispraxis fühlen, sich diese Philosophie immer *ad hoc* und nebenher selber zurechtmachen und nicht lieber vorher zur Kenntnis nehmen, was von den Fachleuten dieser Wissenschaft seit 2000 Jahren Gutes (daneben natürlich auch Schlechtes) nach sehr allmählich sich vervollkommnenden Methoden aufgehäuft (und natürlich zum Teil auch ausgeschieden) worden ist. Alles Mißtrauen der Physiker gegen die Philosophen ist zusammen nicht größer als das Mißtrauen fachmäßiger Philosophen (zu denen Mach nach wiederholten ausdrücklichen Versicherungen nie hatte gerechnet sein wollen) gegen was immer für Behauptungen philosophischen Inhalts, sobald sich diese nur als positive oder negative Aperçus, nicht als Ergebnisse streng methodischer Arbeit und Schulung in wissenschaftlicher Philosophie geben.

Um nach dieser Richtung — die freilich der augenblicklichen Zeitströmung noch entgegengesetzt ist — wenigstens den Versuch eines Schrittes nach vorwärts zu unternehmen, wird eines der nächsten Sonderhefte dieser Zeitschrift, eine unserer „Abhandlungen zur Didaktik und Philosophie der Naturwissenschaft", „Fragen der Physik an die Philosophie" sammeln und fachmäßig zu beantworten suchen.

---

[19]) Oder sollte sich nicht lieber das physikalische Denken überhaupt philosophisch „voraussetzungslos", d.h. unabhängig halten von allem philosophischen? Ich habe einen solchen „Verfassungsgrundsatz" der Unabhängigkeit der Physik von Philosophie in meiner Abhandlung „Zur gegenwärtigen Naturphilosophie" (s. o. S. 11 Anm.) S. 61—67 zu begründen versucht aus dem Verhältnis zwischen Erkenntnispraxis und Erkenntnistheorie. Vorausgesetzt ist bei einem solchen „Grundsatz" allerdings, daß sich die Physiker (und ebenso die Praktiker was immer für eines Erkenntnisgebietes) aller logischen Formen und Kategorien sozusagen mit gesundem Instinkte faktisch bedienen, ohne über diese Formen und Instinkte erst noch zu reflektieren oder sonstwie zu philosophieren. Ist dann freilich der paradiesische Zustand einer solchen unbewußten, reflexionslosen, aber richtigen Handhabung der logischen Formen verscherzt und z. B. ein — wie es uns scheint, ungesunder — Verzicht auf die Kategorie des ursächlichen Denkens versucht worden, so ist für das bewußte, systematische Heilen solcher Schäden wieder nicht mehr der Erkenntnispraktiker, sondern günstigstenfalls der geschulte Erkenntnistheoretiker kompetent. Zum Glück aber scheint es doch auch hier, wie sonst so häufig, auch ein unbewußtes Heilen zu geben; wie denn in unserm Beispiel der Verzicht auf das „Erklären", d. h. auf das kausale Denken, bei den Naturforschern schon wieder aus der — Mode zu kommen scheint. Oder ist auch das bloßer Humor der — „Geschichte"?

Über eine neue schulmäßige Methode absoluter elektromagnetischer Maßbestimmung unter alleiniger Verwendung des Pendeldynmessers.

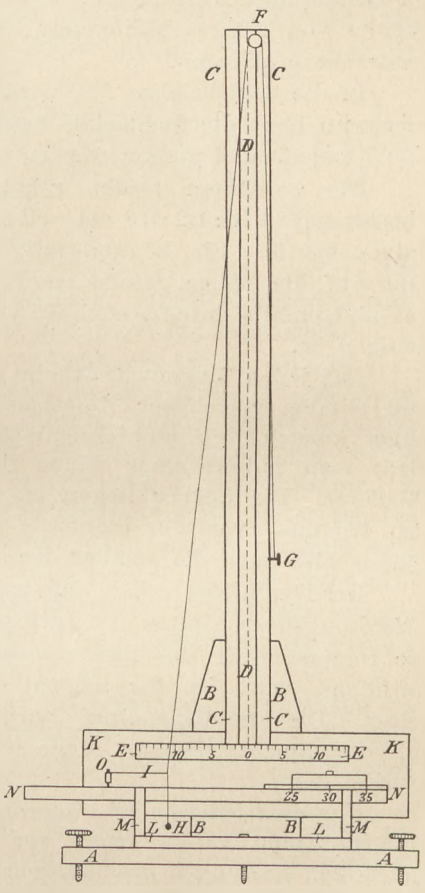
Von

Prof. Dr. **Friedrich C. G. Müller** in Brandenburg a. H.

§ 1.

Instrumente zur Messung kleiner Horizontalkräfte in absoluten Einheiten sind namentlich für magnetometrische Zwecke in den letzten Jahrzehnten mehrfach veröffentlicht worden. Das denkbar einfachste ist ein an einem feinen Faden hängendes, durch die zu messende Kraft seitwärts gezogenes Grammgewicht, dessen Ausschlag an einem horizontalen, genau 981 mm unter dem Aufhängepunkt angebrachten Millimetermaßstabe abgelesen wird. Ein solcher Pendeldynmesser ist bereits in meiner Technik d. phys. Unterrichts beschrieben und abgebildet worden. Inzwischen war ich bestrebt, ihn im einzelnen noch zu verbessern und den besonderen Anforderungen des Experimentalunterrichts anzupassen. Fig. 1 zeigt seine endgültige Konstruktion in Vorderansicht, Fig. 2 den Grundriß. *A* ist das auf 3 Fußschrauben gestellte Grundbrett von den Abmessungen 50:25:2 cm. In dasselbe ist das Vertikalbrett *B* von 30 cm Höhe, 15 cm Breite und 2 cm Dicke eingesetzt. Mitten vor letzterem ist die vertikale 110 cm hohe Leiste *C* vom Querschnitt 6:2 cm befestigt, und zwar so, daß sie 12 cm oberhalb des Grundbretts endigt. Mitten vor der Leiste liegt ein käuflicher Meterstab *D* aus Buchenholz (0,8:2,5 cm) mit dem Nullende nach unten, rechtwinklig zu ihm ein 30 cm langes Stück eines derartigen Stabes *EE*, dessen ursprüngliche Bezifferung durch Abhobeln beseitigt und durch eine solche, wie Fig. 1 sie zeigt, ersetzt worden ist. Der Nullpunkt dieses Maßstabes entspricht der durch Einreißen sichtbar gemachten Mittellinie von *DD*. Am oberen Ende von *DD* ist in der Mittellinie im Millimeterstrich 981 ein Stück Nähnadel so weit eingetrieben, daß ihr Öhr etwa 4 mm vor der Fläche bleibt. Durch dieses Öhr wird der sehr feine weiße Baumwollfaden gezogen, der einerseits das Pendelgewicht *H* trägt, andererseits über ein Röllchen *F* zu dem Wirbel *G* geführt ist. An den Pendelfaden ist etwa 2 cm unterhalb des Maßstabes *E* der 8 cm lange feine Zugfaden *I* geknotet, der an seinem freien Ende mit einem Häkchen aus sehr feinem Messingdraht versehen worden.

Fig. 1.



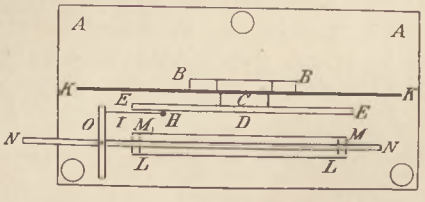


Fig. 2.

Hinter dem Maßstabe ist ein Streifen Silberspiegel von 50 cm Länge und 12 cm Breite angeordnet. Er liegt, von Krammen festgehalten, auf der Vorderfläche des

Biblioteka W.S.P. w Gdańsku
Uniwersytetu Gdańskiego Biblioteka

Vertikalbrettes B. Die Leiste C übergreift ihn mit ihrem unteren Ende und ist deshalb um die Dicke des Glases ausgekehlt. Die Spiegelebene wird, wenn die Tischlerarbeit sorgfältig ausgeführt worden, der durch die Maßstäbe D und E gebildeten Ebene genau parallel sein. Andernfalls muß man dies durch hintergelegte Papierabschnitte erreichen.

Vor dem beschriebenen eigentlichen Dynmesser ist der Magnetträger angeordnet. Er besteht aus der 50 cm langen Leiste NN vom Querschnitt 1 : 2,5 cm, welche sich hochkant in rechteckigen Ausschnitten der beiden Ständer M willig, aber ohne zu schlottern, schieben läßt. Letztere sind 7 cm hoch, 4 cm breit und 2 cm dick und stehen auf den Enden der 30 cm langen Bodenleiste L von gleicher Dicke und Breite. Die Bodenleiste wird durch eine Holzschraube in ihrem Mittelpunkte drehbar auf der Grundplatte festgehalten. Der Drehpunkt muß um den halben Polabstand unter Zugabe von einigen Millimetern, also in unserm Falle um 4,5 cm, von der Dynmesserebene abliegen.

In die Schiebeleiste NN wird, 12 cm von ihrem Ende entfernt, in einem exakt gebohrten Loch die Stahlspitze befestigt, auf die einer der beiden Magnetstäbe O wie eine Kompaßnadel gesetzt werden soll.

Die gedachten beiden rektangulären Magnetstäbe bester Qualität von den Abmessungen 10 : 1,2 : 0,8 cm bilden das Hauptzubehör für Magnetometrie und Galvanometrie. Sie können mittels eines eingeschraubten Kompaßhütchens hochkant auf die Spitze gesetzt werden. Sie müssen immer genau wagerecht hängen, was nötigenfalls durch Aufkitten von Wachs vor das zu leichte Polende zu bewerkstelligen ist.

Auf jeden Magneten ist ein gleichlanger, aber um 4 mm breiterer, mit Millimeterteilung versehener Kartonstreifen mittels des übergreifenden Hütchenrandes genau konzentrisch und gleichliegend befestigt. An seinem übergreifenden Rande sticht man mittels einer feinen Nähnadel Löcher zum Einhängen des Dynmesserhäkchens. Die Löcher liegen an der Polstelle, d. h. um $^5/_6$ der halben Stablänge, also 41,5 mm, von der Stabmitte entfernt. An den herumgereichten Magnetstäben können also auch die Schüler die Längenverhältnisse ohne weiteres ersehen.

Der Dynmesser erhält auf dem Experimentiertisch da seinen Platz, wo auch bei Ablenkungsinstrumenten die Lichtzeiger- oder Bussolennadel ihre Aufstellung findet. Die Hauptstellung des Instruments, nämlich die in der Ebene des magnetischen Meridians, wird ein für allemal durch Körnerpunkte für die 3 Fußschrauben festgelegt. Die Meridianstellung wird dadurch von weitem erkennbar, daß der frei auf der Spitze ruhende Magnetstab der Schiebeleiste und seinem Spiegelbilde parallel liegt.

Vor dem jedesmaligen Gebrauch wird der Pendelfaden mittels der Fußschrauben in etwa 2 mm Abstand exakt vor den Nullstrich gebracht. Die bei allen magnetometrischen Messungen auszuführende Manipulation ist nun die, daß man den Magneten nach dem Einhaken des Zugfadens von dem abgelenkten Pendel in die Normalstellung herumziehen läßt, was durch Schiebung der Leiste NN leicht erreichbar ist. Daß er normal zur Spiegelebene steht, erkennt man auch aus der Ferne daran, daß er und sein Spiegelbild in eine Flucht fallen. Wenn außer dem Erdmagnetismus keine anderen Richtkräfte wirksam sind, wird nun der Dynmesser die Zugkraft des Erdfeldes, also die Größe $2\mu H$, anzeigen. Selbstverständlich hat man vor jeder Ablesung den Zugfaden I durch Handhabung des Wirbels G in die Horizontale gebracht.

Über die einfache und leichte Theorie unsers Dynmessers, die schon im Anfangsunterricht beim Parallelogrammsatz erledigt worden, braucht hier kein Wort verloren zu werden. Wohl aber handelt es sich noch um einige Feststellungen hinsichtlich seiner Schärfe und Treue. Wenn das Instrument gut in Ordnung ist, muß sich der Pendel-

faden bei der soeben erwähnten Bestimmung von $2\mu H$ nach einem kleinen Anstoß immer wieder bis auf 0,1 mm genau auf den nämlichen Punkt einstellen. Eine solche Genauigkeit ist selbstverständlich nur bei tadelloser Beschaffenheit der Spitze zu erzielen. Sobald diese abgenutzt oder durch Mißgeschick gebrochen worden, wird der Faden träge ausschwingen und auch bei leisem Klopfen an der Schiebeleiste um größere Bruchteile eines Millimeters abweichen. Dann muß die Spitze entweder nachgeschliffen oder gegen eine für alle Fälle bereitliegende Ersatzspitze ausgewechselt werden.

Da gute Aufhängespitzen auch bei andern physikalischen Instrumenten von vitaler Bedeutung sind, dürfte eine Anweisung, sie herzustellen und nachzuschleifen, hier am Platze sein. Als Werkzeug verwendet man sogenannten Mississippi-Schleifstein, wie er in Eisenhandlungen in verschiedenen Größen und Formen käuflich ist. Am zweckmäßigsten ist ein gleichseitiges dreiseitiges Prisma A (Fig. 3), das man mit Klebwachs auf einer passenden Holzleiste B befestigt. Die anzuschleifende Stahlnadel D steckt man zentrisch durch zwei Korkscheiben C, erfaßt sie zwischen denselben und führt sie mit der Spitze, so wie Fig. 3 es andeutet, parallel zu sich selbst und unter fortwährendem Drehen auf einer ebenen Unterlage sanft an dem festliegenden, mit Wasser befeuchteten Schleifstein entlang. Wer über eine Drehbank verfügt, spannt die Nadel in das Klemmfutter und bewegt die Prismenfläche mit der auf dem Support geführten Leiste an der umlaufenden Spitze entlang. Als Material erwiesen sich Stopfnadeln guter Fabrikation als wohl geeignet. Sie haben gerade die richtige Härte. Sie erhalten anstatt ihrer schlanken Spitze nach dem angegebenen Verfahren eine solche von 60°. Dieser neu angeschliffene Kegel braucht nur winzig klein zu sein. Der Winkel von 60° hat sich als günstig erwiesen. Er kann noch stumpfer sein; dagegen erwies sich eine Spitze von 45° unter der Last des 85 g schweren Magneten als nicht haltbar genug. Eine gute Spitze muß selbst unter einer scharfen Lupe als mathematischer Punkt erscheinen. Die Stopfnadel wird hinterher in der Mitte glühend gemacht, mit der Feile durchtrennt und das stumpfe Ende der Spitze etwas angespitzt, um es mittels einer Flachzange bequem in das Loch der Tragleiste N einführen zu können.

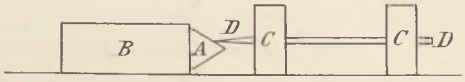


Fig. 3.

Das Hütchen sollte, wenn nicht konisch, so doch sehr stark gekrümmt ausgeschliffen sein, so daß der Magnet beim wiederholten Abheben und Aufsetzen möglichst genau den nämlichen Drehpunkt findet und am Dynmesser gleichbleibende Ausschläge gibt.

Bei allen Messungen ist darauf zu achten, daß der Pendelfaden ohne vorstehende Fäserchen ist. Bei der ersten Instandsetzung wird er zwischen dem mit einer Spur Klebstoff befeuchteten Daumen und Zeigefinger hindurchgezogen. Auch wischt man die Maßstäbe vor jedem Gebrauch mit feuchtem Finger ab.

Bemerkenswert ist, daß das Instrument im geschlossenen Zimmer gegen zufällige Luftbewegung unempfindlich ist.

Was nun die wichtigste Konstante des Dynmessers, das Pendelgewicht, betrifft, so muß es um das halbe Gewicht des schrägen Fadens und des Zugfadens leichter sein als ein Gramm; außerdem ist noch das ganze Gewicht des unteren senkrechten Fadenstücks in Abzug zu bringen. So wiegt ein Meter des von mir verwendeten Garns 0,044 g. Mithin mußte das angehängte Gewicht gleich 1 — 0,022 — 0,002 — 0,004, also 0,972 g, gemacht werden.

Die Hauptsache aber ist eine Nachprüfung des Pendelgewichts mittels der Wage vor den Augen der Schüler, wobei man sich der Analysenwage oder, bequemer und hinreichend genau, einer Apothekerwage kleinsten Formats, welche ein Milli-

gramm noch sicher und deutlich anzeigt, bedienen kann. Der Dynmesser wird soweit niedergelegt, daß die Öse mit den Wagschalen in gleicher Höhe liegt. Das Gewicht und das untere Fadenstück kommen dann auf die eine Schale, wobei der obere Faden schlaff durchhängt; das Häkchen wird ebenfalls irgendwie in Schalenhöhe bei schlaff durchhängendem Zugfaden festgemacht. Hierauf muß ein auf die andere Schale gesetztes Grammstück die Zunge zum Einspielen bringen.

Ich habe auch den Gang des Dynmessers in der Weise kontrolliert, daß ich die Zunge der Analysenwage durch einen 50 cm langen Kokonfaden mit dem Dynmesser verband und bei verschiedenen Ausschlägen des Pendels die Wage mittels aufgelegter Gewichte zum Einspielen brachte. Wie nicht anders zu erwarten, zeigte sich eine bis auf Bruchteile des Milligramms gehende Übereinstimmung beider Instrumente. Da nun selbst ein ganzes Milligramm Fehlgewicht den absoluten Wert der Dynmessungen nur um ein Promille fehlerhaft machen würde, so folgt, daß dies Instrument, soweit die Pendelmasse in Betracht kommt, eine weit über Bedarf gehende Genauigkeit besitzt.

Der Fehler, der daraus entstehen könnte, daß der Magnet nicht genau senkrecht zum Meridian und zum Zugfaden stände, und daß letzterer nicht genau horizontal läge, bleibt selbst bei recht deutlichen Abweichungen unmerklich wegen der langsamen Änderung der Sinusfunktion in der Nähe von 90°.

Was schließlich den aus der Unbestimmtheit der Pollage entspringenden prinzipiell Fehler betrifft, so sei schon hier bemerkt, daß er sich bei der Berechnung des Endergebnisses heraushebt. Wir werden weiter unten auf diesen Punkt näher zurückkommen.

Es braucht wohl kaum betont zu werden, daß der beschriebene Dynmesser und die Art seines Gebrauchs an Einfachheit, Leichtverständlichkeit und Offensichtlichkeit nichts zu wünschen läßt, daß seine Instandsetzung und Handhabung äußerst bequem, daß er unter Mitwirkung eines Tischlers vom Lehrer selbst für ein Billiges leicht und schnell zusammengestellt werden kann. Auch die Ablesbarkeit von den Plätzen der Schüler aus dürfte genügen. Die Zentimeterstriche sind deutlich sichtbar, und die Millimeter können abgeschätzt werden. Zur Feinablesung läßt man einzelne Schüler dicht herantreten. Dies ist freilich ein Notbehelf. Aber man muß berücksichtigen, daß es sich hier nicht um ein Instrument für den laufenden Gebrauch handelt, sondern um ein solches, das nur bei der Festlegung grundlegender Konstanten ein kurzes, aber entscheidendes Wort zu sprechen hat.

§ 2.

Der beschriebene Dynmesser wurde ursprünglich nur mit der Absicht konstruiert, bei der Bestimmung der Horizontalintensität des Erdmagnetismus nach der Methode von Gauß den Wert μH durch ein unmittelbares Wägeverfahren zu gewinnen. Der Wert μ/H wurde in bekannter Weise aus der Ablenkung einer kleinen Magnetnadel mittels des Lichtzeigermagnetometers gefunden. Die Einzelheiten des ganzen Verfahrens, wie ich es für Schulzwecke ausgestaltet habe, sind namentlich in den beiden Abhandlungen *XXII, 1 und XXII, 73 dieser Zeitschr.* beschrieben worden. Darnach können die Horizontalintensität und die Polstärke des Experimentiermagneten in wenigen Minuten vor der Klasse exakt bestimmt werden. Es ist nur erforderlich, den Faktor

$$\frac{\left[r^2 - \left(\frac{l}{2}\right)^2\right]^2}{2\,lr}$$

für die günstig liegenden r ein für allemal von der Klasse berechnen zu lassen und in einer Tabelle zusammenzustellen. Dann ergibt sich H mittels des Rechenschiebers binnen einer Minute. Die Tabelle lautet:

$r =$	30	40	45	50	60	80
$f =$	1566	3774	5398	7428	12890	30680 [1])

Im Anschluß an eine derartige Feststellung von H bieten noch vergleichende Beobachtungen über die Abweichungen der Horizontalintensität innerhalb des Schulgebäudes einiges Interesse und sind eine passende Aufgabe für Schülerübungen. So ergab der Magnetstab II auf dem Experimentiertische, da, wo die Horizontalintensität 0,176 beträgt, am Dynmesser den Ausschlag 61,2, im benachbarten physikalischen Kabinet 67,0, auf dem Schulhofe 65,0. Die Werte von H verhalten sich wie diese Zahlen, berechnen sich mithin zu 0,176, 0,192, 0,187.

Wenn umgekehrt derselbe Magnet an der gleichen Stelle nicht die gleichen Ausschläge erzeugt, so verrät sich dadurch eine Veränderung seines Moments. So gab Stab I aus wolframhaltigem Magnetstahl, zum Maximum magnetisiert und durch Aufstoßen auf den Tisch tüchtig erschüttert, 76,8 Dyn. Tags darauf war der Ausschlag 75,0 und ging im Verlauf der folgenden Tage stetig auf 73,5 hinab. Im Gegensatz dazu zeigte Magnet II, der aus Werkzeugstahl besteht, zwar eine erheblich schwächere, aber sofort nach dem Erschüttern unveränderlich bleibende Kraft 61,3.

Im Verhalten der Magnete zeigte sich noch eine andere wohl zu beachtende Eigentümlichkeit. Es fiel auf, daß namentlich Magnet II nach dem Umlegen der Schiebeleiste rechts merklich kleinere Ausschläge bewirkte als links. Diese anfangs sehr rätselhafte Erscheinung hörte auf, als der Magnet regelrecht nachmagnetisiert worden. Es geschieht dies in einer nur 2 cm langen, engen, mit 300 Amperewindungen betätigten Spule, durch welche der Stab ein paarmal konaxial hindurchgezogen wird. Die Unregelmäßigkeit zeigte sich aber wieder, wenn der Magnet mit Eisen oder dem andern Magnetstab in Berührung gekommen war. Sie rührt demnach von einer unsymmetrischen Verteilung des Magnetismus her. Seitdem bewahre ich die Magnete ohne angelegte Anker auf, den einen rechts, den andern links auf der Dynmessergrundplatte liegend. Bei guter Beschaffenheit der Magnete genügt eine einzige Ablesung. Andernfalls müßte man umlegen und das Mittel nehmen.

Nachdem sich der Dynmesser so bei der Bestimmung der Horizontalintensität und des Stabmoments nach der Gaußischen Methode als ein ebenso bequemes wie exaktes Hilfsinstrument erwiesen hatte, drängte sich der Gedanke auf, ob es wohl möglich sei, mit ihm allein, unabhängig vom Spiegelmagnetometer oder einem sonstigen Ablenkungsinstrument, auch die zweite zur Berechnung von μ und H erforderliche Gleichung zu erlangen. Und da zeigte sich, daß dies in überraschend einfacher Weise geschehen kann. Wenn, nachdem der eine Magnet auf der Spitze ruhend in der üblichen Weise in die Normallage gezogen ist, der andere rechts auf die Schiebeleiste gelegt und die gestörte Normallage durch Verschieben der Leiste wieder hergestellt wird, so ergibt die Differenz zwischen dem neuen und dem ursprünglichen Ausschlage des Pendels offenbar die zwischen den beiden Magneten wirksame Kraft k in Dyn. Ein bestimmtes Beispiel möge zur Erläuterung dienen. Magnet II verharrte im Dynmesser beim Ausschlage 62,0 in Normallage. Dann brachte Stab I, in 30 cm Abstand, so wie es Fig. 1 zeigt, auf die Leiste gelegt, in feindlicher Pollage den Ausschlag von 62,0 auf 106,2; in umgekehrter Lage von 62,0 auf 18,0. Mithin ist die von Stab I auf einen Pol des Stabes II in der Richtung des Zugfadens ausgeübte Kraft gleich 44,1/2 Dyn. Als hinterher Stab I drehbar, Stab II fest eingelegt wurden, ergab sich wiederum zwischen seinem ursprünglichen Ausschlag 43,5 und dem neuen die Differenz 44,2.

[1]) Anmerkung. Die in der Abhandlung diese Zeitschr. XXII, 73 aufgeführten Tabellen gelten infolge einer bedauerlichen Verwechslung nicht für den Polabstand 8,3 cm, sondern für 8,6 cm, während die mitgeteilten Beobachtungen sich auf 8,3 beziehen. Deshalb muß auch die daraus für die Horizontalintensität berechnete Ziffer 0,181 in 0,176 umgeändert werden.

Zum sicheren Auflegen des festen Magneten erhielt die Leiste, genau 30 cm von der Spitze entfernt, eine Bohrung mit kurzem Dorn, auf den der Magnet gesteckt und umgedreht werden kann.

Wenn in solcher Weise die von dem festen auf den beweglichen Magneten in erster Hauptlage ausgeübte Kraft k unmittelbar am Dynmesser abgelesen worden, so ist damit auch das Produkt der beiden Polstärken $\mu_I\ \mu_{II}$ bekannt. Die Berechnung ist ebenso elementar wie bei der Ablenkungsmethode mit sehr kleiner Nadel, nur etwas weitläufiger. Ein Blick auf Fig. 4 zeigt, daß nach dem Coulombschen Gesetze

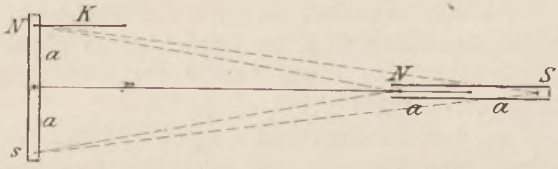


Fig. 4.

$$1) \qquad k = 2\,\mu\,\mu_I \left[(r-a)/[(r-a)^2+a^2]^{3/2} - (r+a)/[(r+a)^2+a^2]^{3/2}\right]$$

oder, wenn man den eingeklammerten Faktor mit f bezeichnet,

$$2) \qquad \mu_I\ \mu_{II} = k/2f.$$

Der numerische Wert von f wird ein für allemal von der Klasse für $a = 4{,}15$ und $r = 30$ berechnet. Er ist $602 \cdot 10^{-6}$. Auch für $r = 35$ cm sind die Versuchsbedingungen noch günstig, und der zugehörige Faktor ist $381 \cdot 10^{-6}$.

Die zweite Beziehung zwischen μ_I und μ_{II} ist aber längst bekannt. Es war ja, wenn k_I und k_{II} die unter alleinigem Einfluß der Erdkraft erzielten Dynmesserausschläge bezeichnen,

$$k_I = 2\,\mu_I\,H, \qquad k_{II} = 2\,\mu_{II}\,H,$$

also

$$3) \qquad \mu_I/\mu_{II} = k_I/k_{II}.$$

Mithin, wenn wir k_I/k_{II} mit q bezeichnen,

$$4) \qquad \mu_I = \sqrt{k\,q/2f}, \qquad \mu_{II} = \mu_I/q, \qquad H = k_I/2\,\mu_I.$$

Nach diesen Formeln ergeben sich aus den 3 Dynmesserablesungen nicht nur die Polstärken beider Magnetstäbe, sondern auch die Horizontalintensität des Erdmagnetismus in absolutem Maße sofort mittels des Rechenschiebers.

Die vorhin mitgeteilten Beobachtungen führen zu den Werten:

$$\mu_{II} = 208, \qquad \mu_{II} = 170, \qquad H = 0{,}176.$$

Der ganze Beobachtungssatz einschließlich der Ausrechnung erfordert nicht 10 Minuten.

Die geschilderte neue Methode wurde nach jeder Richtung hin eingehend durchgeprüft. Zahlreiche Parallelbestimmungen stimmen bis auf $^1/_2\,\%$ überein. Beobachtete man an verschiedenen Standorten in unmittelbarer Zeitfolge, so erschienen gleiche Werte für die Polstärken, aber dem Orte zugehörende, unter sich abweichende Werte für H. Umgekehrt erhielt man nach absichtlicher Änderung der Stärke beider Magnete doch die bestimmten Werte der Horizontalintensität. Ferner wurde mehrfach festgestellt, daß diese Methode genau zu denselben Ergebnissen führt wie die Gaußische. Endlich ist der außerhalb des Schulhauses im Freien ermittelte Wert der Horizontalintensität in bester Übereinstimmung mit der in den erdmagnetischen Tafeln verzeichneten Horizontalintensität unsers Schulorts. Apparat und Methode dürfen demnach den Charakter wissenschaftlicher Genauigkeit und Zuverlässigkeit beanspruchen trotz ihrer Einfachheit und Billigkeit.

Der Dynmesser ließe sich leicht auch so konstruieren, daß er zerlegt und auf Reisen mitgenommen werden könnte. Indessen ist er von vornherein als Schulapparat gedacht. Und daß er den besonderen Erfordernissen eines solchen entspricht, wurde bereits festgestellt. Hier soll nur noch auf die Übersichtlichkeit der neuen magneto-

metrischen Methode hingewiesen werden, die darin liegt, daß außer dem Dynmesser kein Spiegelmagnetometer oder sonstiges Ablenkungsinstrument benötigt wird. Demzufolge tritt auch bei dieser Art, die Polstärke der Vergleichsmagneten und die Horizontalintensität des Erdfeldes zu bestimmen, das Eigenartige des absoluten Maßsystems besonders deutlich hervor. Es werden nur drei Längen an einem Zentimetermaßstab abgelesen, und die beiden Konstanten a und r, ebenso die Länge 981, sind unmittelbar am Apparat sichtbar gemacht. Die Pendelmasse ist leicht festzustellen, weil sie ja die denkbar bequemste Größe hat, nämlich die Einheit. Daß in der aus der Mechanik übernommenen Konstante der Fallbeschleunigung auch die Zeiteinheit steckt, muß jedem Schüler der Oberstufe klar sein.

Es bleibt noch die den meisten magnetometrischen Methoden anhaftende Unsicherheit zu erörtern, die aus der unrichtigen Einschätzung des Polabstandes zu entspringen scheint. Wir haben in üblicher Weise a gleich $^5/_6$ der halben Stablänge gesetzt. Daß dies den tatsächlichen Verhältnissen entspricht, kann aus den Streukurven einigermaßen erkannt werden. Weit wichtiger aber ist der theoretische Nachweis, daß mäßige Abweichungen der Größe a ohne merklichen Einfluß auf das Endergebnis bleiben, gerade wie es bei der Gaußischen Methode der Fall ist. Der in unserer Gl. 1) enthaltene Faktor ist freilich zu verwickelt, um ihm ohne weiteres ansehen zu können, daß sein Wert sich mit a nahezu im gleichen Verhältnis ändert. Da heißt es: probieren. Der Weg des Probierens ist ja immer der überzeugendste, wenn es gilt, sich über den Einfluß gewisser Glieder auf das Resultat einer Rechnung Klarheit zu schaffen. Setzen wir also versuchsweise a auf 4,5 oder im Verhältnis $4{,}5/4{,}15 = 1{,}084$ höher an. Mit diesem Wert von a berechnet sich der Wert des Faktors $f_{\mathrm{I}} = 650 \cdot 10^{-6}$. Für $a = 4{,}15$ war aber $f = 602 \cdot 20^{-6}$. Demnach ist $f_{\mathrm{I}}/f = 1{,}080$. Es hat sich also f nahezu in demselben Sinne geändert wie a. Da aber die Dynmesserausschläge k sich nach dem Hebelgesetz umgekehrt wie a verhalten müssen, ergibt sich aus Gl. 4) für H ein nur um das $\sqrt{1{,}080/1{,}084} = 0{,}998$fache, d. h. so gut wie gar nicht abweichender Wert. Aus demselben Grunde werden auch die Produkte $a\mu$ für die beiden um 8% abweichenden Werte von a bis auf 2 Promille übereinstimmend gefunden.

Hinsichtlich der Ausführung der Dynmessermethode ist noch zu bemerken, daß sie keineswegs an die Meridianstellung des Instruments gebunden ist. Wenn nur alle Ablesungen bei Normalstellung des drehbaren Magneten erfolgen, ergeben sich für μ_{I} und μ_{II} ohne weiteres die richtigen Werte nach Gl. 4). Die Ausschläge k_{I} und k_{II} sind ja beide dem Kosinus der Abweichung proportional, während k vom Azimut ganz unabhängig bleibt. Allerdings sind bei Schrägstellung die Beobachtungsbedingungen weniger günstig, da kleine Abweichungen von der rechtwinkligen Lage des Magnetstabs bemerkbare Fehler veranlassen.

Abgesehen von Schülerübungen kann sich die Schrägstellung des Dynmessers bei Unterrichtsversuchen sehr empfehlen, wenn die Stellung des Experimentiertisches für magnetometrische Beobachtungen ungünstig ist. Beispielsweise macht in unserm Lehrzimmer die Tischachse einen Winkel von 44° mit dem magnetischen Meridian. Dies hat zur Folge, daß die linkssitzenden Schüler die Dynmesserskala schlecht sehen können. Deshalb stelle ich das Instrument meistens parallel zur Tischkante. Bei einer Beobachtungsreihe ergaben sich zunächst für die Meridianstellung $k_{\mathrm{I}} = 72{,}5$, $k_{\mathrm{II}} = 61{,}3$, $k = 43{,}7$. Für die Stellung parallel der Tischkante $k_{\mathrm{I}} = 50{,}3$, $k_{\mathrm{II}} = 42{,}2$, $k = 43{,}6$. Die entsprechenden Werte von k_{I} und k_{II} geben die Quotienten 0,695 und 0,690 in Übereinstimmung mit $\sin 44^\circ = 0{,}695$.

Aus der ersten Reihe berechnet sich

$$\mu_{\mathrm{I}} = 207, \qquad \mu_{\mathrm{II}} = 176, \qquad H = 0.175.$$

Aus der zweiten

$$\mu_{\mathrm{I}} = 208, \qquad \mu_{\mathrm{II}} = 175, \qquad H = 0.174.$$

§ 3.

Nachdem es gelungen, mittels anschaulicher Wägungsoperationen — ein Dynmesser stellt ja eine Zeigerwage einfachster Art dar — die Kraft der beiden Magnetstäbe und die Stärke des Erdfeldes exakt in absoluten Einheiten zu bestimmen, lag der Gedanke nahe, auch die Stärke elektromagnetischer Felder in gleicher Weise auszuwägen und damit eine der wichtigsten Aufgaben physikalischer Meßkunst zu lösen: Die Reproduktion der absoluten Stromeinheit. Man braucht ja nur einen ebenen Leiter konaxial auf der Schiebeleiste zu befestigen, Strom durchzuleiten und die von ihm auf den drehbaren Magneten von bekannter Stärke in Normallage ausgeübte Kraft in Dyn zu messen, genau so, wie es mit der des festen Magnetstabes geschehen.

Es fragt sich nun, welche Gestalt der Leiter haben soll. Ein Kreisstrom von mäßigem Durchmesser ist für Unterrichtszwecke ausgeschlossen, weil die exzentrische Lage der Pole unüberwindbare mathematische Schwierigkeiten bieten würde. Dagegen geben rechteckige Leiter sehr einfache Formeln, wie von mir diese Zeitschr. *XXII, 149* entwickelt worden. Von allen Rechtecken eignet sich aber besonders ein

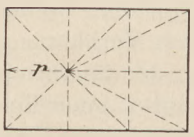


Fig. 5.

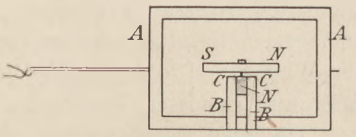


Fig. 6.

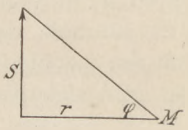


Fig. 7.

solches, wie es die Figuren 5 und 6 zeigen, dessen Länge dem dreifachen, dessen Breite dem doppelten Polabstand gleich ist.

Unter Benutzung der aus dem Laplaceschen Grundgesetze abgeleiteten Formel

$$k = \frac{\mu J}{r} \sin \varphi,$$

deren Sinn aus Fig. 7 (der dortigen Fig. 3) ersichtlich ist, ergibt sich in Hinblick auf Fig. 5 für die auf jeden Pol von einem Strom der Stärke J ausgeübte Kraft

$$k = \frac{\mu J}{r} \left[2\sqrt{2} + \sqrt{5} \right],$$

$$k = \frac{\mu J}{r} 5.07.$$

Für beide Pole zusammen und $r = 2a = 8{,}3$ wird

$$k = 1{,}222\, \mu J.$$

Der Einheitsstrom gibt also

$$k = 1{,}222\, \mu.$$

Wählen wir nun unsern Magnetstab I, dessen Stärke zuvor auf 206 absolute Einheiten bestimmt worden, so wird er unter der Kraft des Einheitsstromes einen Zug von 252 Dyn am Haken des Dynmessers ausüben. Da das Meßbereich des Instruments hierfür nicht ausreicht, nehmen wir passend den 5. Teil des Einheitsstromes (2 Amp.). Dieser Strom offenbart dann eine Kraft von 50,4 Dyn. —

Für den gedachten rechteckigen Leiter dient als Träger ein leichter Holzrahmen $A\,A$, Fig. 6, von den Außenmaßen 24,9 : 16,6 cm, die durch aufgeleimte Kartonmaßstäbe dem Beschauer ohne weiteres ersichtlich gemacht werden. Auf dem einen Langteil von $A\,A$ sitzen je zwei quadratische Pföcke B, zwischen welche die Schiebeleiste NN des Dynmessers mit einiger Reibung paßt. Oben sind sie mit einer

Platte Laubsägeholz oder Messingblech CC abgedeckt. Ein bis zum Mittelpunkt von CC geführter schmaler Einschnitt gestattet, den Rahmen so weit auf die Leiste zu schieben, daß die Stahlspitze in die Mittellinie des Rahmens zu stehen kommt. Der senkrecht zur Leiste stehende Rahmen umgreift den Spiegel des Dynmessers, wenn die Leisten in die Einschnitte gelegt werden. Der auf die Spitze gesetzte Magnetstab gelangt also bei seiner Stellung normal zur Spiegelebene genau in die Mittelebene des Rahmens.

Um den Rahmen wird eine Windung dünnen Kupferdrahts gespannt, was in der Weise geschieht, daß man zwei 1 m lange Stücke Haustelegraphendraht auf etwa 60 cm zusammendrillt und die freien Enden durch Abbrennen von der Isolierschicht befreit. Hierauf zieht man die blanken Enden, von der Mitte der Schmalseite beginnend (vgl. Fig. 6), straff um den Rahmen und vereinigt sie gegenüber durch Zusammendrehen. Der Draht muß genau der Mittelebene des Rahmens folgen und wird nötigenfalls noch durch Streifen Isolierband befestigt.

Es mögen nun die Daten einer bestimmten Versuchsreihe folgen. Der Dynmesser hatte Meridianstellung.

a) Bestimmung der Polstärken.

Es wurde beobachtet: $k_{\mathrm{I}} = 72{,}5$; $k_{\mathrm{II}} = 61{,}3$.

$$\begin{aligned} k &= 104{,}5 - 61{,}3 = 43{,}2 \\ &= 61{,}3 - 17{,}5 = 43{,}8 \\ &\qquad\qquad\quad 43{,}5. \end{aligned}$$

Hieraus berechnet sich

$$\mu_{\mathrm{I}} = 206, \qquad \mu_{\mathrm{II}} = 178.$$

b) Der Rahmen wurde aufgesetzt und mit einem am anderen Tischende aufgestellten Braunschen Vorlesungsamperemesser und einem Rheostaten leitend verbunden; den Strom lieferte eine vor dem Tischende befindliche Akkumulatorenbatterie. Der Strom wurde so reguliert, daß der Amperemesser genau 2 Amp. zeigte. Unter Einwirkung des Stroms auf Magnet I wurde der Dynmesserfaden von 75,5 auf 122,5 abgelenkt; bei umgekehrter Stromrichtung ging der Ausschlag auf 22,0 zurück. Demnach ist $k = 50{,}25$ Dyn. Hierauf berechnet sich die Stromstärke zu

$$J = 50{,}25 / 206 \,.\, 1{,}222 = 0{,}199.$$

Der ganze Versuchssatz beansprucht einschließlich der Ausrechnung nicht 20 Minuten, zumal man weiß, was herauskommen muß, und die betreffenden Schieberstellungen im voraus markieren kann. Spätere Wiederholungen bestätigten in gleicher Weise die Genauigkeit und Sicherheit der Methode.

Wir lassen die wissenschaftliche Bedeutung der geschilderten völlig neuen Methode absoluter Strommessung auf sich beruhen, ebenso ihren praktischen Wert bei der Eichung von Amperemessern. Für uns gilt sie nur als ein Glied im Aufbau des Experimentalunterrichts. Und da bedeutet es gewiß einen Fortschritt, daß sie nur eines einzigen Apparats bedarf, und zwar eines Apparats von solcher Einfachheit, Wohlfeilheit und bequemer Handhabung wie der Pendeldynmesser. Die Dynmessermethode ist zudem weit anschaulicher und unmittelbarer als die der Nadelablenkungen, weil sie den vollen Betrag der vom Strom auf den Magneten ausgeübten Kraft als Zug am Pendel sichtbar macht im Gegensatz zu den verwickelten Kraftbeziehungen der Tangentengalvanometer. Die bei letzteren als unsichtbare Vergleichskraft auftretende Horizontalintensität ist bei unserer Methode ausgeschaltet, so daß derselbe Magnetstab in allen Räumen des Schulhauses den richtigen Wert der absoluten Stromeinheit ergeben muß. Pädagogisch wichtig ist auch das deutliche Hervortreten des Zusammenhangs von Stromeinheit und Längeneinheit, da ja nur Längenablesungen an Zentimetermaßstäben erforderlich sind.

Demgegenüber ist zuzugeben, daß die theoretischen Vorarbeiten für die Berechnung des Reduktionsfaktors eines rechteckigen Leiters schwieriger sind als die Theorie der Tangentenbussole. Dafür ist aber auch der geistige Gewinn um so größer, denn es kommt dabei das elektrodynamische Grundgesetz von Laplace in seinem vollen Umfange zur Verarbeitung*).

Zur Bestimmung des Brechungsexponenten von Flüssigkeiten.

Von

Prof. Dr. **J. Schröder** in Hamburg.

Die Ermittlung des Brechungsexponenten fester und flüssiger Substanzen erfolgt im allgemeinen nach der Methode der prismatischen Ablenkung, und nur vereinzelt findet nach Pulfrich[1]) noch bei Flüssigkeiten eine schon von Brewster[2]) gegebene Methode Verwendung, die auf der Beziehung zwischen dem Brechungsexponenten, den Krümmungsradien und der Brennweite einer zylindrischen oder sphärischen Linse beruht. Da aber diese letztere vielleicht etwas in Vergessenheit geratene Methode Anlaß zu einer Aufgabe im physikalischen Praktikum bietet, so möchte ich im folgenden darauf zurückkommen.

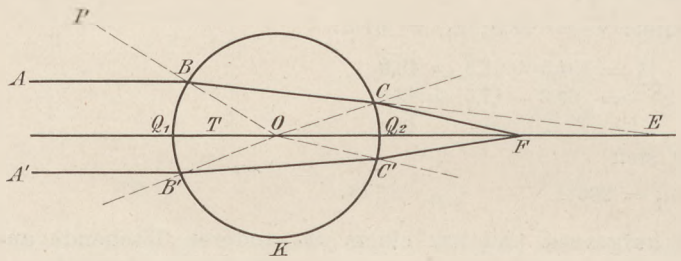


Fig. 1.

Der Kreis K (Fig. 1) mit dem Radius r sei der Grundriß eines zylindrischen Glasgefäßes, das die auf ihren Brechungsexponenten n zu untersuchende Flüssigkeit enthält. Belichtet man das Gefäß durch ein schmales horizontales Bündel paralleler Strahlen (AB, $A'B'$ . . .), so entsteht auf der entgegengesetzten Seite des Gefäßes die vertikale Brennlinie in der Entfernung $FQ_2 = f$. Zwischen r, f und n besteht dann, wie im folgenden gezeigt wird, der einfache Zusammenhang:

$$(1) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad n = \frac{2(f+r)}{2f+r}$$

Zur Herleitung[3]) dieser Gleichung geht man von der Brechung des Lichtes an einem zylindrisch begrenzten Mittel aus.

Es sei der Kreis K_1 (Fig. 2) mit dem Mittelpunkte O_1 und dem Radius r_1 der Grundriß der zur Zeichenebene senkrechten zylindrischen Begrenzung einer Substanz M. Auf der Verbindungsgeraden des Punktes O_1 mit dem vordersten Punkte Q_1 von K_1 liege außerhalb des Mittels M ein leuchtender Punkt A. Ein von diesem Punkte ausgehender Strahl trifft K_1 in B_1, wird dort gebrochen und trifft, falls M das optisch dichtere Mittel ist, die Achse O_1Q_1 etwa in E. Setzt man $AQ_1 = a$, $AB_1 = c$, $B_1E = d$, $Q_1E = e$, $\sphericalangle P_1C_1A = \alpha$, $\sphericalangle EC_1O_1 = \beta$ und $\sphericalangle C_1O_1A = \gamma$, so ist, wenn das Mittel M den Brechungsexponenten n hat:

$$\frac{a + r_1}{c} = \frac{\sin\alpha}{\sin\gamma}$$

*) Die Firma Max Kohl, Chemnitz, liefert den vollständigen Apparat in bester Ausführung zu 90 M.

[1]) Pulfrich, Winckelmanns Handbuch d. Physik, 2. Aufl., VI, S. 590.

[2]) Brewster, Treatise on philos. Instruments. Edinb. 1814.

[3]) Ich gebe hier der größeren Durchsichtigkeit halber die vollständige Ableitung.

und

$$\frac{e - r_1}{d} = \frac{\sin\beta}{\sin\gamma}.$$

Folglich wird:

$$(2) \quad \frac{a + r_1}{c} \cdot \frac{d}{e - r_1} = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = n.$$

Beschränkt man die Betrachtung auf Strahlen, die in unmittelbarer Nähe der Achse $O_1 Q_1$ verlaufen, so nimmt die Gleichung (2) die Gestalt an:

$$\frac{a + r_1}{a} \cdot \frac{e}{e - r_1} = n$$

oder:

$$(3) \quad \frac{1}{a} + \frac{n}{e} = \frac{n - 1}{r_1}.$$

Trifft nun der in M verlaufende gebrochene Strahl, bevor er E erreicht, eine zweite zylindrische Begrenzungsfläche K_2, so findet wieder eine Brechung statt, und der dann aus M austretende Strahl schneidet die Achse etwa im Bildpunkte B. Ist (Fig. 2) $QQ_2 = l$, $Q_2 B = b$, $O_2 Q_2 = r_2$, so erhält man den Zusammenhang der hier in Betracht kommenden Größen am einfachsten, wenn man den Strahlenverlauf in der Richtung $B B_2 B_1$ verfolgt. Man hat dann im Punkte B im Abstande b von Q_2 das reelle Objekt und in E im Abstande $(e - l)$ von Q_2 das virtuelle Bild, und es ist:

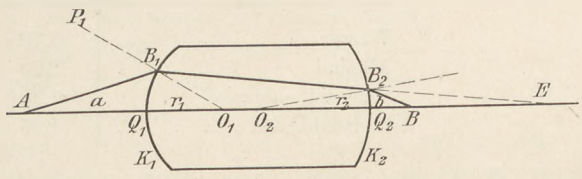


Fig. 2.

$$(4) \quad \frac{1}{b} - \frac{n}{e - l} = \frac{n - 1}{r_2}.$$

Sind die Flächenstücke K_1 und K_2 Teile des Mantels eines und desselben Kreiszylinders vom Radius r_1, so gehen die Gleichungen (3) und (4) über in:

$$(3') \quad \frac{1}{a} + \frac{n}{e} = \frac{n - 1}{r}$$

und

$$(4') \quad \frac{1}{b} - \frac{n}{e - 2r} = \frac{n - 1}{r}.$$

Wählt man insbesondere $a = \infty$, so wird, falls die dazugehörige Bildweite mit f bezeichnet wird:

$$(3'') \quad \frac{n}{e} = \frac{n - 1}{r}$$

und

$$(4'') \quad \frac{1}{f} - \frac{n}{e - 2r} = \frac{n - 1}{r}.$$

Durch Elimination von e aus diesen beiden Gleichungen folgt:

$$\frac{1}{f} - \frac{n(n - 1)}{r(2 - n)} = \frac{n - 1}{r}$$

oder:

$$\frac{1}{f} = \frac{2(n - 1)}{r(2 - n)}$$

und hieraus ergibt sich dann weiter die zu Anfang mitgeteilte Formel (1):

$$n = \frac{2(f + r)}{2f + r}.$$

Diese Formel ist in der Tat recht bequem für die Ermittlung des Brechungsexponenten von Flüssigkeiten und gibt Veranlassung zu einem instruktiven Versuch bei den Schülerübungen auf der Oberstufe. Die Ausführung des Versuchs kann in folgender Weise geschehen. Als zylindrisches Gefäß wählt man ein möglichst dünnwandiges Becherglas, das auf die breite Seite eines horizontal hingelegten Meterstabes mit Millimeterteilung gestellt wird. Als Lichtquelle wird eine Kerze genommen, die unter eventueller Benutzung einer Blende entweder in hinreichend großer Entfernung von dem Becherglase oder auch im Brennpunkte einer Sammellinse von bekannter Brennweite aufgestellt wird. Die Brennlinie fängt man auf einem mit der unteren Kante auf den Maßstab aufgesetzten Kartonblatt auf. Die Größen $2r$ und f werden dann unmittelbar am Maßstabe abgelesen und in die obige Formel eingetragen.

Bei einigen von Oberprimanern mit weißem Lichte ausgeführten Bestimmungen ergaben sich folgende Werte:

Substanz	r cm	f cm	n
Wasser	1,70	1,70	1.33
Alkohol	2,20	1,95	1,36
Schwefelkohlenstoff . . .	1,80	0,50	1,64
Kanadabalsam	1,95	0,85	1,53

Zur Verwendung der flüssigen Luft.

Von

H. Rebenstorff in Dresden.

Im Unterrichte sind die überraschenden Versuchseffekte gewiß nicht die Hauptsache, und auch bei Verwendung eines davon soviel bietenden Materials, wie flüssige Luft, möchte man die quantitativen Erörterungen in den Vordergrund rücken. Den bezüglichen Ausführungen der letzten Ausgaben bekannter Werke (Frick-Lehmann, Heumann-Kühling, Weinhold) kann das Mitzuteilende wohl als Ergänzung dienen. Meistens bekannt wird sein, daß flüssige Luft in Vakuumflaschen, gewöhnlich zu zwei Litern, von der Gesellschaft für Markt- und Kühlhallen in Berlin SW., sowie von der Gesellschaft für Lindes Eismaschinen in München mit Eilfracht versandt wird. Die erste Anschaffung kostet (gefüllte Flaschen in Korb mit Filzeinlage, in Blechbehälter stehend, Abfüllapparat) nicht ganz 75 M; Nachfüllung gegenwärtig 10 M. Das Verhalten der Gase kann dafür mit besonderer Gründlichkeit vorgeführt werden. Die Ankunft der am gewünschten Tage bahnlagernd eintreffenden Sendung wird am Orte der Anstalt telephonisch gemeldet. Mit einer Füllung konnte beispielsweise an den 5 der Ankunft folgenden Tagen viermal das Wichtigste in verschiedenen Klassen, sowie bei einem Vortrage vorgeführt werden.

Mit zwei Weinhold-Dewarschen Zylindergefäßen auf Holzfüßen kommt man aus, einem doppelwandigen von 4 cm Durchmesser und 15 cm Länge, nebst einem vierwandigen von 3 cm Durchmesser bei gleicher Länge. Statt der nicht billigen Schutzkappen aus Gummi für den Glasrand kann man einfach Zylinderchen aus zusammengerollter Pappe oben in die Gefäße stecken. Beim Ausgießen bleibt die Luft in diesen Einsatzröhren.

Der die Flaschenmündung bedeckende Filzpropfen ist bisweilen festgefroren. Zur Ablösung drängt man zunächst einen Finger zwischen Filz und Glas. Den Stand der Luft in der versilberten Flasche ergibt ein langsames Einsenken des Abfüll-

apparates bis zum Beginne des Aufzischens bei der Berührung mit der Flüssigkeit. Schon vor dem ersten Festdrücken des Stopfens bringt man unter das Ausströmungsrohr einen Mehrwandzylinder, da sonst bei Aufhebung des Leidenfrostzustandes am eingesenkten Glasrohr eine Luftportion unnütz herauskocht. Es ist vielleicht zweckmäßig, auch hier anzuraten, daß der Stopfen des Abfüllapparates nach jedesmaliger Entnahme von Luft gelüftet wird. Über die Schnelligkeit der Vergasung aus den Flaschen und den Zylindergefäßen belehren Gummiballons an spitzen oben umgebogenen Glasrohren, die in aufgesetzten Gummistopfen sitzen (s. Fig. 1). Ein solcher leichter, vorübergehender Abschluß hat natürlich mit dem selbstverständlich gefährlichen dichten Schließen dieser Gefäße nichts zu tun. Aus dem Umfange des kugelig geblähten Ballons ergeben sich nach einiger Zeit die beständigen Verluste als Grundlage für eine Überschlagsrechnung für die Haltbarkeit der Füllung. Das spez. Gewicht der flüssigen Luft kann man dabei gleich 1 setzen; es wird wohl meistens bald nach Eintreffen der Sendnug diesen Wert überschreiten (bei etwa 55 % an Sauerstoff). Reiner flüssiger Sauerstoff besitzt freilich die Dichte 1,134. Die Wägungen der gefüllten und mit einem Glasstöpselchen abgeschlossenen Ballons (diese Zeitschr. **19**, *98*; **20**, *224*) lassen durch das Mehrgewicht den erhöhten Sauerstoffgehalt erkennen. Auch zu eudiometrischen Bestimmungen, sowie zu qualitativen Verbrennungsversuchen kann der Inhalt der Ballons benutzt werden. Die uns vor kurzem in liebenswürdigster Weise vom Maschinenlaboratorium der hiesigen technischen Hochschule gelieferte flüssige Luft war anfänglich noch so reich an Stickstoff, daß ein glimmender Span in einem Zylinder voll des zuerst in die Ballons tretenden Gases nur ein wenig heller glimmte. Die von den Resten in Mehrwandzylindern geblähten Ballons füllten beim Einströmenlassen die Zylinder mit stets entflammend wirkendem Gase. Die Vergasung aus dem Doppelwandzylinder war bei annähernd gleicher Füllung etwa doppelt so schnell wie aus dem Vierwandgefäß, trotzdem die Durchmesser, also auch die wärmeleitenden Wandstellen sich wie 4 : 3 verhielten. Andererseits verhüten solche Vergleichsmessungen auch eine Überschätzung der Wirkung der geschützteren Gefäße. Ein oberflächliches Urteil gestattet freilich schon die Geringfügigkeit des Taubeschlages auf dem Vierwandgefäß.

Fig. 1.

Von der Tiefe der Temperatur der flüssigen Luft überzeugt das Pentanthermometer mittels der bis — 200° reichenden Skale. Von besonderem unterrichtlichem Nutzen ist aber eine Messung des erstaunlich großen Volumens, um das eine in dem Kältebade abgekühlte Gasmenge sich hinterher ausdehnt. Einen einfachen Apparat hierfür zeigt Fig. 2; die Messung der Volumzunahme wird mittels des mit großer Anschaulichkeit wirkenden und wesentlich bequemer verwendbaren Gasmeßzylinders zu 100 ccm (s. auch diese Zeitschr. **21**, *181*) ausgeführt. Der einem lufthermometrischen Gefäß vergleichbare Behälter *t* ist mit zwei ziemlich engen Röhren versehen, die oben für bequemeres Anstreifen der Gummiröhren umgebogen sind. Man füllt *t* mit Wasserstoff, indem man dies bei *a* einleitet und sehr bald an *b* einen vorher mit dem Munde zusammengesaugten Ballon aufstreift, der dann durch den schwachen Druck des Gasentwicklers bis zu kleiner Faustgröße sich aufbläht. Hierauf wird das kurze Gummiröhrchen an *a* mittels eines Stöpselchens abgeschlossen. Am einfachsten füllt man für den Versuch vorher einen Ballon, z. B. an einer Wasserstoffbombe oder an geeignetem Entwickler (s. auch diese Zeitschr. **19**, *98*) mit etwa einem Liter des Gases, streift ihn zum Gebrauche an *t* und stöpselt die zweite Röhre ab, sobald die Luft aus *t* als entfernt anzusehen ist. Ein kleiner Luftrest beeinflußt die

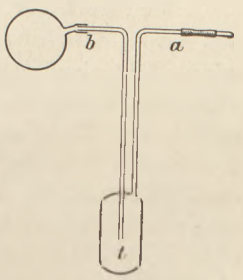


Fig. 2.

Messung nicht. Sauerstoff besitzt nach Dewar bei — 182° noch normale Dichte und verhält sich unter vermindertem Drucke bei dieser Temperatur (hier geringer Partialdruck) wie ein vollkommenes Gas (Dammer, *Handb. d. anorg. Chemie IV, 111*); reiner Stickstoff siedet bekanntlich erst bei — 195°.

Nach Einsenken des Behälters *t* und einigem Bewegen, bis das verstärkte Aufsieden der flüssigen Luft völlig aufgehört hat, streift man den kleiner gewordenen Ballon ab, verschließt ihn für eine Wiederholung der Messung und schließt dafür das Rohr *b* an den Meßzylinder an, der, bis zur Nullmarke gefüllt, mit senkrechtem Abflußrohr bereit steht. Es ist ein Vorzug des Gasmeßzylinders, daß man an Veränderungen des Niveaus im Abflußrohre auch geringe Volumänderungen der abgeschlossenen Gasmenge aus großen Entfernungen erkennen kann. Ein Sinken des Wassers nach dem Schlauchanschluß würde den noch nicht beendeten Temperaturausgleich im Kältebade erweisen. Zum Füllen des Meßzylinders wird am besten gefärbtes Wasser benutzt. Nachdem das Abflußrohr über eine Schale herabgedreht ist, hebt man das Thermoskopgefäß aus dem Kältebade, wobei sofort die Ausdehnung der Luft beginnt. Man beschleunigt den Wärmeausgleich durch Bewegen des Gefäßes in einem Tuche und hierauf in Wasser von Zimmerwärme. Sehr bald kommt dann der reichliche Abfluß des verdrängten Wassers zum Stocken, und nach vorübergehend völligem Herabdrehen des Abflußrohres stellt man dieses auf gleichen Wasserstand (innen und außen) am Meßzylinder ein. Zur Verwertung der daran abgelesenen Volumzunahme des wiedererwärmten Gases muß der Inhalt des Gefäßes *t* bekannt sein. Es braucht nicht beschrieben zu werden, wie derselbe durch Einfüllen von Quecksilber ein für allemal gefunden wird. Die Biegung von *b* wird in einen Vorrat des Metalles gesenkt und durch Saugen an *a* der entstehende Heber in Betrieb gesetzt. Zweckmäßig liegt der Inhalt von *t* zwischen 30 und 35 ccm; der Durchmesser des in ein Vakuumgefäß von 4 cm einzusenkenden Behälters betrage etwas über 3 cm, die Höhe gegen 5 cm. Die Volumzunahme des aus der flüssigen Luft gehobenen Gasvolumens beträgt sehr nahezu das $2^1/_2$fache desselben, entsprechend den absoluten Temperaturen von etwa 83° und 292°, die ja dafür in Betracht kommen.

Viel geringer ist die Volumzunahme der abgeschlossenen Gasmenge, wenn diese aus einem Kohlensäure-Äthergemisch heraus wieder auf Zimmerwärme gebracht wird. Die absoluten Temperaturen des Intervalles sind dann etwa 193° und 292°; die Volumina verhalten sich wie 2 : 3, und die Ausdehnung geschieht nur um etwa die Hälfte des Thermoskopinhaltes. Besonders bei der schwierigeren Abkühlung im Kohlensäurebrei ist als Kennzeichen für den Temperaturausgleich die Beobachtung am Wasserstande im Abflußrohre gut verwendbar. Während die flüssige Luft das eingesenkte Gefäß überall umschließt, bleiben im Kohlensäurebrei einige Lücken, die eine schnelle Abkühlung erschweren. Auch ein Versuch des Wiedererwärmens des Gefäßinhaltes nach Einsenken in Eiswasser oder eine Schnee-Kältemischung ist als Gegenstück zu der Messung mit flüssiger Luft lohnend. Die Temperaturbestimmung ist wegen der dann so geringen Volumzunahme ja nur ganz roh; man hat aber dabei Gelegenheit, die mittels der flüssigen Luft erhaltenen Zahlen ins Gedächtnis zurückzurufen. Das in den Meßzylinder übergetretene Gas ist natürlich im gesättigt feuchten Zustande abgemessen worden. Unsicherheiten über den Einfluß der hinzugekommenen Menge Wasserdampf beseitigt die bei meiner „verkürzten Reduktion“ von Gasmengen benutzte Abrundung, daß bei Zimmerwärme die Sättigungsmenge dem Volumen nach $^1/_{50}$ der Gasmenge beträgt. Nimmt man es genau, so wäre das gemessene Volumen um diesen Bruchteil zu verkleinern. Auch der Einfluß der mit dem Gase in den Thermoskopbehälter gebrachten Feuchtigkeit ist sofort zu veranschlagen. Erwähnt sei, daß Wasserstoff, der feucht gesättigt in einen Gummiballon getrieben wurde, an relativer Feuchtigkeit bald der Zimmerluft gleichkommt, da Wasserdampf durch Gummiwände ziemlich schnell diffundiert.

Der Verwendung der flüssigen Luft für die Durcharbeitung des Gay-Lussacschen Gesetzes kann weiter ein besonders anschaulicher Versuch über Verdichtung von Kohlensäure folgen. In dem vorhin beschriebenen Thermoskopbehälter konnten trotz Engheit der Zuleitungsröhren schnell zwei Liter des Gases in Schnee verwandelt werden. Der mit der Lieferung dieser Gerätschaften beauftragten Firma Gustav Müller in Ilmenau habe ich aber für solche Versuche die Maße eines Gefäßes mit etwas weiteren Röhren angegeben, worin eine Verstopfung gewiß ausbleibt. Um die Leichtigkeit der Kondensation von Kohlensäure durch flüssige Luft zu zeigen, streift man an das Rohr *b* (Fig. 2) einen Ballon mit mehreren Litern des Gases, schließt nach Verdrängung der Luft das andere Rohr ab, am besten durch einen zweiten leergesaugten Ballon, und senkt das Gefäß in den Vakuumzylinder von 4 cm Durchmesser voll flüssiger Luft. Sobald die Verdichtung des Gases beginnt, sieht man den Ballon zusammensinken, wie wenn er sein Gas frei ausströmen ließe. Bald sind beide Ballons vom äußeren Luftdruck zusammengeknüllt. Es liegt nahe, die Röhren des Apparates oben mit Glashähnen und darunter mit eingeschmolzenen Elektroden versehen zu lassen, um das entstehende partielle Vakuum durch Entladungen bemerkbar zu machen. Nach dem Herausnehmen aus dem Kältebade zeigt sich die enorme Abkühlung daran, daß das Wiederaufblähen des Ballons erst nach einiger Zeit beginnt. Macht man durch Bewegen in Wasser das Gefäß von Bereifung frei, so sieht man den Kohlensäureschnee noch ziemlich lange einen durch Aufklopfen leicht hin und her bewegbaren Haufen bilden, während die Ballons sich langsam blähen.

Auch die Kohlensäure in ausgeatmeter Luft verdichtet sich sehr leicht in einem solchen Behälter. An eine längere fingerdicke Glasröhre, deren Ende umgebogen und mit Spitze versehen ist, wird ein Ballon gestreift und mit dem Munde aufgeblasen, während man ihn nach oben hin hält, damit die im Rohre sich abscheidende Feuchtigkeit nicht mit hineingetrieben wird (Fig. 3). Auch bei mehrmaligem, längerem Benutzen eines Rohres zum Aufblähen bleiben Nebeltröpfchen aus Atmungsluft praktisch vollkommen zurück, wenn im Glasrohre eine spaltförmige Verengung angebracht ist. Die schon genannte Firma schmilzt hierfür in der oberen Hälfte des Rohres innen ein etwas engeres Rohrstückchen fest. Den Ballon (4—5 l) streift man an das eine Rohr des in der flüssigen Luft im Vakuumgefäß stehenden Behälters und läßt die Luft durch Aufheben des Druckes auf den Ballonhals nicht zu schnell hindurchtreten. Bald hat sich eine Portion Kohlensäureschnee abgeschieden. Nach Anschluß des Behälters an einen Gasmeßzylinder (jetzt zu 250 ccm) und Schließen des anderen Behälterrohres mißt man beim Wiedererwärmen auf Zimmertemperatur eine Gasmenge gleich der Summe der Ausdehnung des Luftinhaltes des Behälters und des Volumens der aus der Atmungsluft verdichteten Kohlensäure. Es ergibt sich deren Menge zu einigen Prozenten des vormaligen Ballonvolumens. Läßt man nach der Messung den Inhalt des Behälters mit dem Munde ansaugen, so wird der Geschmack von fast reiner Kohlensäure verspürt. Der Versuch gibt ein Beispiel für die häufige Anwendung der flüssigen Luft zum Abtrennen leichter kondensierbarer Gase. Leitet man die aus dem Behälter sich wieder verflüchtigende Kohlensäure durch kaltes destilliertes Wasser, am besten in einem Spitzglase aus einer unten mit etwas Mull überbundenen Glasröhre, so entsteht Sodawasser aus Atmungsluft. Der etwa um das Aufblähen des Ballons verdiente Schüler empfindet dafür einen besonderen Reiz. Den Ballon kann man statt mit Atmungsluft auch mit den Verbrennungsgasen oberhalb einer Flamme aufblähen, indem man diese mittels eines Gummigebläses ansaugt und in den Ballon treibt[1]).

Fig. 3.

[1]) Die Firma Gustav Müller in Ilmenau versendet auf Wunsch einen Prospekt über Gummiballons nebst Stöpselchen, Gebläse, Umfangmaß, Wasserstoffentwickler, Magnesiumspäne u. a.

Über qualitative Versuche mit flüssiger Luft sei noch das folgende angeschlossen. Die Entfärbung stark abgekühlter Körper ist meistens nur gering. Von Quecksilberverbindungen zeigt das Oxyd den auffallendsten Farbenwechsel, indem das Rote fast gelb wird. Gerade um übertriebenen Darstellungen entgegenzutreten, empfiehlt sich das äußerst bequeme direkte Einsenken zweier Abschnitte von thermoskopischen Farbblättern in die flüssige Luft. Das rote Kupferquecksilberjodid wird nur sehr wenig heller; das Silberquecksilberjodid etwas heller und grünlich nuanciert. Ein Abschnitt mit dem grünen Gemenge des letzteren Farbenthermoskopes mit Berliner Blau wird mehr blaugrün, aber nur wenig heller. Schwefel ist als Demonstrationsmittel den genannten Verbindungen vorzuziehen, da er weiß wird.

Bemerkenswert ist weiter, daß plastischer Schwefel, dessen etwas zylindrisch zurechtgedrückte Fadenmasse man an einem dünnen Draht in flüssige Luft senkt, daraus in stark zusammengezogenem Zustande herausgezogen wird. Ein Teil pflegt schon vorher sich abzutrennen. Der Rest ist äußerst spröde und beim Wiederwarmwerden auf dem Tische springen einige Teilchen empor. Die plastische Stoffnatur ist aber noch nicht sofort verwandelt. Nach geraumer Zeit kann man den Schwefel wieder etwas kneten. Ein Reagenzglas mit einer Bodenschicht von überschmolzenem Salol zeigt ebenfalls eine Fortdauer des labilen Zustandes in der flüssigen Luft. Die eingesenkte Schmelze wird zwar bald fest. Nimmt man das Gläschen nach längerem Verweilen im Kältebade aber wieder heraus, so schmilzt die Masse bereits unterhalb der Zimmerwärme und erstarrt erst, sobald ein Kristallkeim, etwa durch Impfung mit einem feinen infizierten Glasröhrchen, in die Flüssigkeit gebracht wird. Hinzugefügt sei, daß man vorher natürlich auch die beim Hineinschütten des Salols in das Reagenzglas an der oberen Wand verbleibenden Reste mittels der Flamme schmelzen und so die unten befindliche Hauptmenge vor leicht hineinfallenden Keimen sichern muß. Salol erstarrt langsamer als die meistens für Überschmelzung benutzten Salze. Die Kristallisation schreitet um 1 cm erst in etwa vier Minuten vorwärts.

Vom Erstarren des Alkohols und Äthers kann man ohne Projektion aus der Ferne nicht viel sehen. Um die in Reagenzgläsern innerhalb der flüssigen Luft festgewordenen Massen schnell herausziehen zu können, schiebt man die Schlinge eines kräftigen Zwirnsfadens bis in die eingegossene Flüssigkeit hinab und läßt ihn mit einfrieren. Nach völligem Erstarren überträgt man das Reagenzglas schnell in eine größere Menge Quecksilber und rührt eifrig in dem Metalle um. Die losgeschmolzene Substanz zieht man an dem Faden heraus, der dann ein Pendel darstellt. Man kann die wieder teigig werdende Masse mit dem Hammer auf Holz etwas breitschlagen und noch einige Sekunden lang auf Wasser schwimmen lassen. Sehr lohnend sind schnell verlaufende Versuche mit einem in flüssige Luft oder in darin erstarrende Flüssigkeiten eingesenkten Thermoelement, die unter „Für die Praxis“ beschrieben sind. (Dieses Heft, S. 42.)

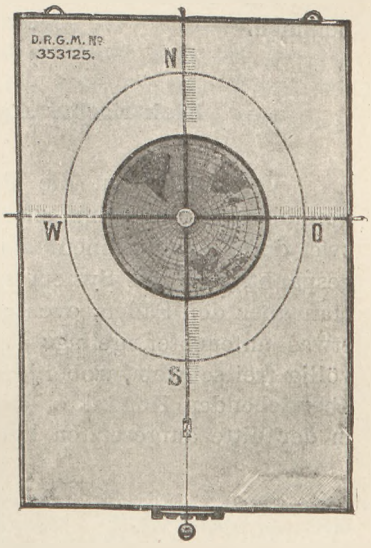
Den Sauerstoffreichtum der flüssigen Luft kann man bei dem schönen Versuche des Einschüttens in Wasser zugleich zeigen. Gießt man etwa die in den Mehrwandzylindern nach den übrigen Versuchen verbliebenen Reste nach Einschieben des oben erwähnten Pappezylinders in einen hohen und weiten, zu etwa $^3/_4$ mit Wasser gefüllten Standzylinder, so erfüllt sich der Luftraum darin mit der durch gewaltige Nebelmengen weiß gefärbten verdampften Luft. Der eingesenkte, glimmende und sofort aufflammende Span verzehrt den Sauerstoff nicht, da dieser aus dem im Wasser umherwirbelnden großen Tropfen so reichlich nachgeliefert wird. Auch andere Verbrennungsversuche können schnell angeschlossen werden.

Kleine Mitteilungen.

Ein neuer Apparat zur Demonstration der Erscheinungen der Ebbe und Flut.

Von Prof. **Füchtjohann** in Bonn.

Erfahrungsgemäß bieten die Erscheinungen der Ebbe und Flut dem Verständnis der Schüler manche Schwierigkeiten. Zwar ist es einleuchtend, daß die Wassermassen auf der dem Monde zugewandten Seite der Erde der auf sie ausgeübten Anziehungskraft folgen und sich vom Erdmittelpunkte entfernen; daß aber die auf der entgegengesetzten Seite der Erde befindlichen Wassermassen unter Einwirkung einer in derselben Richtung wirkenden, nur infolge des größeren Abstandes etwas verringerten Kraft sich ebenfalls vom Mittelpunkte der Erde entfernen, also der wirkenden Kraft sich scheinbar entgegenbewegen, wird den meisten Schülern nur schwer zu erklären sein.



Um dem Verständnis der Schüler nachzuhelfen habe ich einen sehr einfachen Apparat durch die Firma Ferd. Ernecke in Berlin-Tempelhof konstruieren lassen, der alle Ebbe- und Fluterscheinungen zu demonstrieren erlaubt.

Er besteht in der Hauptsache aus zwei auf einem Brette befestigten Stahlachsen, die an ihrem Kreuzungspunkte starr miteinander verbunden sind. Auf ihnen kann sich ein elastischer Stahlreif bewegen, der einen auf dem Brett gezeichneten Kreis deckt. Dieser Stahlreif veranschaulicht einen Wassergürtel um die Erde. In den entgegengesetzten Punkten N, S und W, O sind Kerben angebracht, in die Schnüre eingehakt werden können, die durch einen Fang unterhalb S gezogen werden. Belastet man nun die Schnüre mit gleichen Gewichten zur Veranschaulichung der Anziehungskraft des Mondes, so behält der Stahlreif seine Kreisform.

Wenn man aber das Gewicht in N aushakt, tritt der Reif bei N und S über den gezeichneten Kreis hinaus, bei W und O in ihn hinein. Er zeigt also in S und N Flut, in W und O Ebbe an. Um die gleichzeitige Anziehung von Mond und Sonne in der Konjunktions- oder Oppositionsstellung zu zeigen, kann man das in N abgenommene Gewicht noch an die S-Schnur hängen oder in N nach außen ziehen lassen, der Stahlreif tritt dann bei N und S noch weiter von dem Kreise fort (Springflut). Hängt man dagegen das Gewicht in W oder O nach außen wirkend an, so tritt der Reif bei S und N wieder näher an den Kreis heran. (Nippflut, Sonne in Quadratur.)

Die innerhalb des Kreises liegende Polarkarte ist um den Mittelpunkt drehbar; mit ihr läßt sich veranschaulichen, wie irgendein Punkt *M* auf der Erde bei einer Umdrehung zweimal durch die Ebbe- und zweimal durch die Flutstellung geht. Nimmt man nun nach einer Drehung der Karte von 360° eine von den beiden Ösen, mit denen der Apparat aufgehängt ist, ab, so dreht er sich etwa um die rechte Öse und mit ihm die Gewichte in dem Fang, dadurch wird gezeigt, daß der Mond während der 24 Stunden in seiner Bahn nach Osten vorgeschritten ist, und wie der Punkt *M*, der durch ein Bleiplättchen beschwert vertikal unter dem Mittelpunkt geblieben ist, noch eine weitere Drehung machen muß, um in seine Ausgangslage zum Monde zurückzukehren. Das gibt die Erklärung dafür, daß Ebbe und Flut sich nicht in genau 24 Stunden, sondern sich erst in 24 Std. 50 Min. 28 Sek. zweimal wiederholen.

Eine kleinere drehbare Holzscheibe, um die eine Gummischnur gelegt ist, die durch zwei kleine Rollen in einer Entfernung von 2—3 cm von der Scheibe gespannt gehalten wird, und die nun den Wassergürtel um die Erde darstellt, gestattet, die Hebung und Senkung der Wassermassen in der Flut- und Ebbestellung zu veranschaulichen.

Da die Konstruktion des Apparates un dseine Handhabung sehr einfach ist, so können die zu beobachtenden Bewegungen ohne störende Begleiterscheinungen gesehen und die Schüler mit Leichtigkeit zum Verständnis des sonst so schwer begreiflichen Naturvorganges geführt werden.

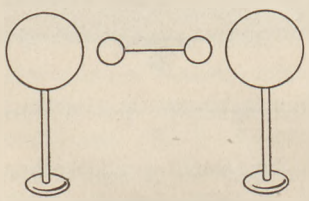
Der billige Preis von 20 M, für den die Firma Ferd. Ernecke in Berlin den Apparat in sauberster Ausführung herstellt, gestattet allen Lehranstalten seine Anschaffung.

Für Rheinland und Westfalen hat Hans Hilgers in Bonn den Vertrieb übernommen.

Elektrisches Analogon zum Leidenfrostschen Phänomen.

Von Dr. **P. Serf** in Düsseldorf.

Verbindet man die Pole einer Influenzmaschine mit zwei isolierten Kugelkonduktoren und bringt zwischen diese, während die Maschine langsam gedreht wird, zwei durch einen Leinenfaden verbundene Holundermarkkügelchen, so wird der Faden gespannt, und das System schwingt zwischen den Konduktoren hin und her. Wenn man aber den Faden, eventuell auch (bei trockenem Wetter) die beiden Konduktoren etwas anfeuchtet, gelingt es, das System zur Ruhe zu bringen, und zwar so, daß es völlig frei schwebt, wobei jede Holundermarkkugel mehrere Millimeter von dem gegenüberstehenden Konduktor entfernt ist. Man kann dabei noch den Faden durch einen in der Mitte aufgesetzten Reiter von Draht belasten und erzielt dadurch noch größere Stabilität des frei schwebenden Systems. Hierbei halten sich offenbar die Anziehungskraft zwischen den entgegengesetzt geladenen Kugeln und der von den Konduktoren ausgehende elektrische Wind auf beiden Seiten im Gleichgewicht, und der letztere insbesondere verhindert, wie beim Leidenfrostschen Phänomen die fortgeschleuderten Flüssigkeitsmoleküle, daß die Holundermarkkügelchen mit den Konduktoren in Berührung kommen.



Der Versuch kann auch in der Weise abgeändert werden, daß man den einen Pol der Maschine zur Erde ableitet, den anderen mit der frei aufgestellten Konduktorkugel verbindet und an diese die beiden durch einen Leinenfaden verbundenen Holundermarkkugeln anhängt, nachdem man in die untere eine Nähnadel eingesteckt hat. Die obere Kugel schwebt dann je nach dem Gewicht des ganzen Systems und der Stärke der Elektrizitätszuführung in einem Abstande von 2—10 Millimetern unter dem Konduktor. Sollte sie anfangs den Konduktor berühren, so braucht man diesen nur anzuhauchen, um die Kugel freizumachen. Hierbei wird die abstoßende Kraft des elektrischen Windes noch unterstützt durch das in demselben Sinne wirkende Gewicht des Systems. — Steckt man durch die untere Kugel statt der Nähnadel einen **S**-förmig gebogenen Draht, so beginnt das System um seine Längsachse zu rotieren, wodurch es noch an Stabilität gewinnt. Man hat nun ein völlig frei in der Luft schwebendes elektrisches Flugrad.

Bei den Versuchen wurde die Töplersche Influenzmaschine durch einen kleinen Motor angetrieben; so konnte die Rotationsgeschwindigkeit der Scheibe durch Regulierung des Widerstandes beliebig verändert werden.

Über Olaf Römers Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit.

Von **J. Schacht** in Berlin.

Die Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit durch Olaf Römer macht dem Verständnis der Schüler meist große Schwierigkeiten. Nach meinen Erfahrungen ist die folgende naheliegende Betrachtung immer von großem Nutzen gewesen.

Ein Beobachter bewege sich auf einem Kreise mit dem Mittelpunkte M und dem Radius 1 km derart, daß er die Punkte A, B, C, D zu folgenden Zeiten passiert:

A	12 h	0 min	
B	12 h	15 min	
C	12 h	30 min	
D	12 h	45 min	
A	1 h	0 min	usw.

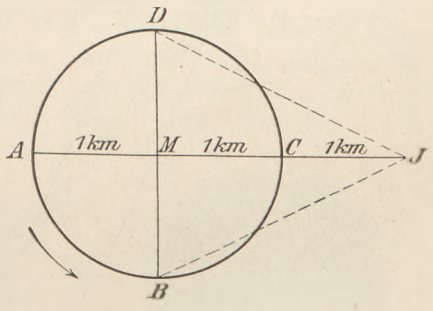
Nun werde angenommen, daß zu den oben bemerkten Zeiten durch ein im Punkte J aufgestelltes Geschütz Schüsse abgefeuert werden. Setzt man die Schallgeschwindigkeit gleich $^1/_3$ km, so braucht der Schall, um bis A zu kommen, 9 sec, bis B und $D \sim 7$ sec, bis C 3 sec. Der Beobachter wird demnach die Schüsse zu folgenden Zeiten hören:

1.	12 h	0 min	9 sec
2.	12 h	15 min	7 sec
3.	12 h	30 min	3 sec
4.	12 h	45 min	7 sec
5.	1 h	0 min	9 sec.

Für den Beobachter sind also die Zeiten zwischen 2 Schüssen verschieden, sie betragen:

15 min — 2 sec
15 min — 4 sec
15 min + 4 sec
15 min + 2 sec.

Sie sind auf dem Wege $A\,B\,C$ kleiner, auf dem Wege $C\,D\,A$ größer als eine Viertelstunde. Der Gesamtbetrag der Abweichungen auf dem Wege $A\,B\,C$ stimmt mit dem auf dem Wege $C\,D\,A$ bis auf das Vorzeichen überein (6 sec) und ist unabhängig von der Entfernung des Punktes J. Weiß nun der Beobachter, daß die Schüsse in genau gleichen Intervallen abgefeuert werden, so wird er dieses Intervall als Mittelwert aus den beobachteten Zeiten zu 15 Min. annehmen und die Abweichungen daraus erklären, daß der Schall Zeit gebraucht, um sich fortzupflanzen. Wäre er in A geblieben, so würde er den dritten Schuß um 12 h 30 min 9 sec wahrgenommen haben. Der Schuß hat sich um 6 sec verfrüht. Also muß der Schall zu 2 km 6 sec gebrauchen, in 1 sec $^1/_3$ km zurücklegen.



Die Schallgeschwindigkeit ist niemals so bestimmt worden. Doch hat Olaf Römer durch ganz analoge Betrachtungen die Geschwindigkeit des Lichts gefunden.

An die Stelle des Kreises mit 1 km Radius tritt die Erdbahn mit 20000000 Meilen Radius, für die abgefeuerten Schüsse treten die Verfinsterungen eines Jupitermondes ein. Von einem Astronomen werden während eines Jahres die Verfinsterungen eines Jupitertrabanten beobachtet. Die Zeiten zwischen zwei aufeinander folgenden Verfinsterungen schwanken um einen mittleren Wert, sind kleiner als derselbe, wenn sich die Erde dem Jupiter nähert, sind größer, wenn sie sich von ihm entfernt. Da die

Umlaufszeit des Trabanten als unveränderlich angenommen werden muß, so sind die Wahrnehmungen nur dadurch zu erklären, daß das Licht Zeit gebraucht, um sich fortzupflanzen. Die Strecke AC ist hier 40000000 Meilen, die den 6 sec entsprechende Zeit ist hier $16^2/_3$ min = 1000 sec. Also braucht das Licht, um 40000000 Meilen zu durchmessen, 1000 sec. Die Lichtgeschwindigkeit ist demnach 40000 Meilen = 300000 km.

Über den elementargeometrischen Beweis, daß das Licht bei der Brechung den Weg kürzester Zeitdauer nimmt.

Von Prof. Dr. **R. Maurer** in Freiburg i. Br.

Zu der Mitteilung von Prof. Leman über diesen Gegenstand in Heft 1, S. 38 bemerke ich folgendes.

Der angebliche Beweis enthält zwei Fehler. Erstens heißt es Seite 39 oben: „Wir tragen nun der Ungleichheit der Geschwindigkeiten Rechnung, indem wir a entsprechend der größeren Geschwindigkeit größer machen.“ Statt dessen sollte a entsprechend der kürzeren zum Durchlaufen einer Strecke 1 erforderlichen Zeit kleiner gemacht werden; denn das Zeitminimum soll in ein Streckenminimum, nicht -maximum verwandelt werden. — Herr Leman würde die Formel $a \,.\, v_1/v_2 + b$ = Min. erhalten, die er aber nicht hinschreibt; sonst wäre ihm wohl der Widerspruch mit seiner Gl. 1) $a/v_1 + b/v_2$ = Min. aufgefallen, die durch Multiplikation mit dem unveränderlichen v_2 in $av_2/v_1 + b$ = Min. übergeht.

Der zweite Irrtum, wodurch der erste wieder verdeckt wird, besteht darin, daß in der Gleichung $A'C + CB$ = Min. der Punkt A' als ein festliegender angesehen wird,

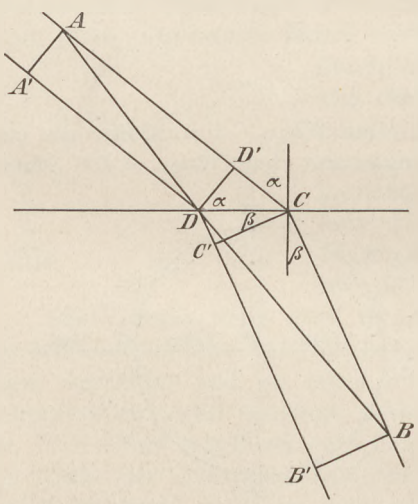


Fig. 1.

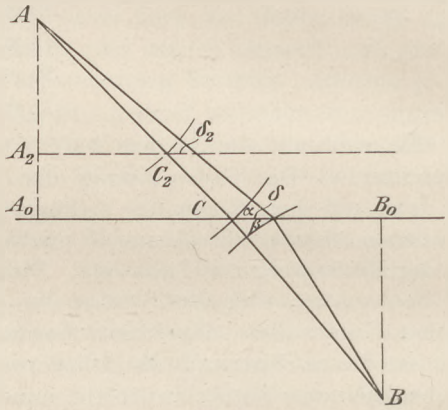


Fig. 2.

denn nur so wäre der Schluß: $A'CB$ ist eine Gerade, berechtigt. Tatsächlich rückt A' näher an A_0, wenn C etwas gegen A_0 verschoben wird, und für die neue Lage A'' gilt $A''C + CB < A'B$, wie es sein muß, da die Geschwindigkeiten in den zwei Mitteln verwechselt worden sind, als die Zeiten durch Strecken abgebildet wurden. $A'CB$ ist einfach deshalb eine Gerade, weil in umgekehrter Ausführung der bekannten Huygensschen Konstruktion (2 Kreise um C durch A und A') die Brechung von BCA rückgängig gemacht worden ist.

Es sei noch gestattet, den von Leman erwähnten Schellbachschen Beweis[1]) in etwas anderer Form zu wiederholen.

---

[1]) Diese Zeitschr. I, *S. 191. 1888.*

ACB (Fig. 1) sei der dem Brechungsgesetz $\sin\alpha/\sin\beta = v_1/v_2$ oder $\sin\alpha/v_1 = \sin\beta/v_2$ folgende Lichtstrahl, und es sei nachzuweisen, daß er zu diesem Weg kürzere Zeit braucht als zu einem (etwa durch einen kleinen Fehler der Fläche bei D ermöglichten) Weg ADB. Im Lichtband $AC, A'D$, wo $AA' \parallel D'D \perp AC$, pflanzt sich das Licht von AA' bis $D'D$ fort in der Zeit AD'/v_1; die Zeit $D'C/v_1$ ist $= DC\sin\alpha/v_1 = DC\sin\beta/v_2 = DC'/v_2$, wenn $CC' \perp CB$, d. h. die Verbindungsgerade zwischen zwei gleichzeitig erleuchteten Punkten auf den Grenzstrahlen ist auch nach der Brechung senkrecht zum Lichtband; und die ganze Zeit zur Lichtbewegung auf ACB ist $AC/v_1 + CB/v_2 = A'D/v_1 + DB'/v_2 < AD/v_1 + DB/v_2$, w. z. b. w.

Folgende Herleitung bedient sich der Betrachtungsweise der Differentialrechnung: A und B (Fig. 2) sind wieder feste Punkte, C schreite auf der Grenzfläche der beiden Mittel von A_0 gegen B_0 fort und nehme dabei die (veränderlichen) Winkel α und β mit. Um die Zeiten, die das Licht für AC und CB gebraucht, in übereinstimmendem Verhältnis (Geschwindigkeit v_2) durch Strecken darzustellen, behalten wir alle CB bei und verändern alle AC in AC_2 durch die Parallele A_2C_2 zu A_0B_0, wo $AA_2/AA_0 = v_2/v_1$. Die für ACB erforderliche Zeit nimmt anfangs ab und ist am kürzesten, wenn bei einer kleinen Verschiebung von C um δ die Strecke AC_2 um ebensoviel zunimmt, als CB abnimmt, d. h. wenn $\delta_2\sin\alpha = \delta\sin\beta$ oder $\sin\alpha/\sin\beta = \delta/\delta_2 = v_1/v_2$ ist.

In Fig. 1 und 2 ist veranschaulicht, daß die Lichtgeschwindigkeiten auf beiden Strahlteilen und längs der Grenzfläche sich wie $\sin\alpha$, $\sin\beta$ und 1 verhalten. Dasselbe zeigt die bekannte Zusammensetzung der beiden Wellenflächen aus Elementarwellen.

Ein einfaches Modell zum „Huygensschen Versuch".

Von Prof. Dr. **Paul Czermak** in Innsbruck.

Bei den Vorlesungen über die Polarisation des Lichtes bediene ich mich der folgenden 3 Modelle mit gutem Erfolge. Fig. 1 stellt das Doppelbild eines rhombischen Diaphragmas dar, wie es von einem achromatischen Kalkspatprisma und einer Projektionslinse entworfen wird. Bei einer Drehung des Kalkspates in seiner Hülse bleibt das ordinäre Bild in der Mitte, während das extraordinäre auf dem Umfange eines Kreises liegt. Dies kann natürlich durch Drehen der Pappscheibe nachgeahmt werden. Die Schwingungsrichtungen in den zwei Bildern sind durch rote Schraffierung für das ordinäre und eine blaue für das extraordinäre Bild kenntlich gemacht.

Fig. 1.

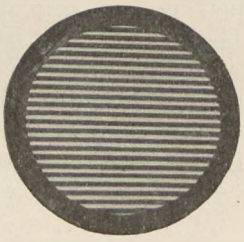


Fig. 2.

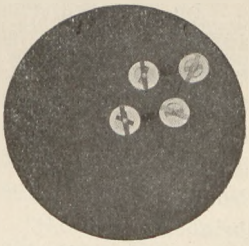


Fig. 3.

Setzt man diesem Modell einen schematischen Polariseur vor, Fig. 2, in Form eines Gitters mit horizontalen Spalten, so geht die eine Schwingungsrichtung gut durch, wenn die andere gekreuzt ist. Man kann so zeigen, daß bei einer Drehung des Kalkspates um 360° die beiden Bilder abwechselnd 2mal verschwinden und 2mal durchgelassen werden. Es ist die genaue Illustration des Versuches, der in dem Lehrbuche von Pfaundler II. Bd. 1. Abt. § 380 Fig. 384 im Bilde wiedergegeben ist.

Diese Modelle erscheinen etwas trivial, sie sollen jedoch auf das kompliziertere Modell Nr. 3 vorbereiten, welches den Versuch mit den zwei Kalkspaten von Huygens vorstellen soll.

Dieses besteht wieder in einer schwarzen Scheibe, welche aber als Bilder des Kalkspates zwei runde, weiße Scheibchen trägt, die nur einen roten horizontalen und resp. einen blauen vertikalen Strich haben. Dadurch sollen sie andeuten, daß das eine Scheibchen dem ordinären Bilde, das andere dem extraordinären des ersten Kalkspates entspricht. Sie bleiben fix, da der Kalkspat nicht gedreht wird.

Die zwei andern Bilder, welche im allgemeinen durch das Vorsetzen des zweiten Kalkspates entstehen, sind durch die Gelenkspunkte eines Parallelogrammes von gleichen Seiten dargestellt. Die Querarme desselben haben wie zwei Brillen auch Scheibchen ausgeschnitten, die einen, in der Ausgangsstellung, horizontalen roten und vertikalen blauen Strich tragen. Sie geben immer die Lage des Hauptschnittes im zweiten Kalkspat an, während man ihn herumdreht, und zeigen durch eine Winkelverdrehung, Parallelstellung oder Kreuzung an, wieviel vom ersten Kalkspat noch hindurchgeht, oder ob das Bild ausgelöscht ist. An den beweglichen Gelenkspunkten ist ein gleicher Querarm aufgenietet, der die Schwingungsrichtung der beiden, durch den ersten Kalkspat erzeugten Bilder trägt, und der bei der Drehung des zweiten Kalkspates sich immer parallel bleibt. Man hat so mechanisch die ganze Reihenfolge der Phasen nachgeahmt, wie sie Pfaundler in seinem Lehrbuche II. Bd. 1. Abt. § 382 Fig. 688 wiedergibt.

Wenn wir die zwei Stellungen, in welchen die beiden Hauptschnitte parallel sind, und wo sie 180° miteinander einschließen, wo also nur zwei resp. ein Bild entsteht, herausgreifen, so sieht man folgendes. Bezeichnen wir mit 1 und 2 die beiden fixen Bilder, mit 3 und 4 die beweglichen, so löschen in beiden Fällen die Bilder 2 und 4 aus und 1 und 3 sind im Maximum der Helligkeit, aber während im ersten Falle die Bilder getrennt sind, fallen sie im zweiten übereinander, man sieht jedoch, daß das scheinbar einfache, unpolarisiertes Licht enthaltende Bild aus zwei senkrecht zueinander polarisierten besteht.

Innsbruck, im Juni 1909.

Ein billiges Panzergalvanometer in erschütterungsfreier Aufhängung.

Von Dr. **D. van Gulik** in Wageningen (Holland).

Im physikalischen Auditorium ist ein empfindliches Spiegelgalvanometer erwünscht, das von äußeren magnetischen Einflüssen und von mechanischen Erschütterungen wenig gestört wird. Nun sind aber die Panzergalvanometer sehr teuer, und die Preise der erschütterungsfrei aufhängbaren Gestelle sind auch ziemlich hoch. Frei von magnetischen Störungen sind zwar gewisse Arten von Galvanometern, wie z. B. die nach d'Arsonval. Es sind aber empfindliche Galvanometer nach Thomson von höchst einfacher Herstellung öfters (auch in dieser Zeitschrift) beschrieben worden[1]).

Ich habe deshalb ein derartiges Instrument mit einem (einzigen) Zylinderpanzer versehen und dasselbe auf ganz einfache Weise an drei dünnen Stahldrähten aufgehängt. Die Aufhängung ist so gemacht, daß die folgenden Hauptbedingungen einer erschütterungsfreien Aufstellung nach Julius dabei erfüllt sind[2]):

[1]) Z. B. von Adami, diese Zeitschr. 1900, S. 141.

[2]) W. H. Julius, Wied. Ann. **18**, 1905, S. 206.

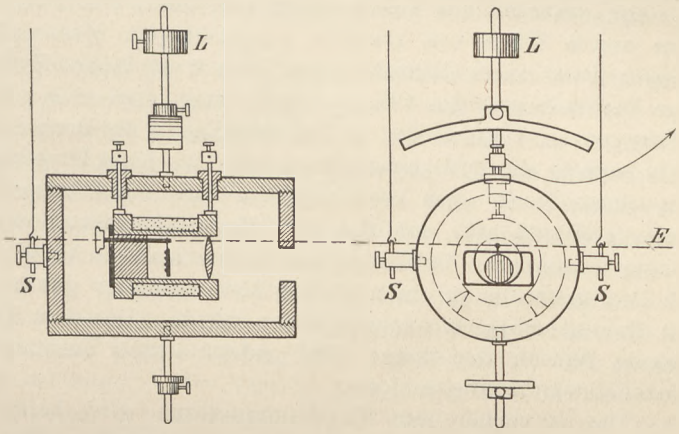
In dieser Abhandlung wird auch einmal ein Kugelpanzergalvanometer mit erschütterungsfreier Aufhängung genannt, das mir weiter nicht bekannt ist. Dasselbe kann vielleicht dem meinigen

1. Die drei Drähte, an denen der Apparat aufgehängt ist, sollen von gleicher Länge und gleich stark belastet sein und durch die Belastung merklich verlängert werden.

2. Der Schwerpunkt des ganzen hängenden Körpers befinde sich in der horizontalen Ebene, welche durch die drei Punkte bestimmt ist, in denen der Apparat auf den Ösen der Drähte ruht.

3. Diejenigen Teile des Apparates, auf deren Ruhe es hauptsächlich ankommt, sollen in der Nähe des Schwerpunktes liegen.

Die Vorrichtung ist aus den Figuren zu ersehen und braucht nur wenig erläutert zu werden. Das Laufgewicht (L) ermöglicht es, den Schwerpunkt des Instrumentes in die Nähe des Aufhängepunktes des Kokonfadens zu bringen. Die Stifte (S) sind vertikal verstellbar, so daß man die Horizontalebene (E), welche durch die Befestigungspunkte der Stahldrähte geht, durch den Schwerpunkt des Systems bringen kann. Die Stifte sind derart im Panzer angebracht, daß diese drei Befestigungspunkte alsdann ein gleichseitiges Dreieck bilden mit dem Schwerpunkt des Apparates im Zentrum. Die drei Stahldrähte werden also gleich stark belastet.



Eine Dämpfung ist nicht angebracht, weil das Instrument nur für objektive Demonstrationen gebraucht wird (die Linse wirft das Bild einer Osmiumlampe auf die Skale), es ist durch einen umgebauten Pappkasten gegen Luftströmungen geschützt.

Der Panzer ist ein Eisenzylinder von 1 cm Wanddicke. Die Endflächen sind durch runde Eisenplatten abgeschlossen; an der Vorderseite ist aber für die Lichtstrahlen eine Öffnung ausgespart, wie aus der Figur ersichtlich. Was endlich das Material betrifft, so ist das Eisen der Siemensschen Panzer nicht leicht zu erhalten. Man kann sich aber einen Panzer aus Transformatorenblech wickeln. Ich habe mit Erfolg einen aus Kruppschem Reform-Eisen herstellen lassen. Das Instrument ist vom Mechaniker Luynenburg in Wageningen angefertigt und hat sich vorzüglich bewährt.

Bindung des Luftstickstoffs.

Von **H. Rebenstorff** in Dresden.

In den so reinen und haltbaren Magnesiumspänen hat die neuzeitliche Elektrochemie dem Unterrichte ein außerordentlich nützliches Hilfsmittel verschafft, das außer durch die früher beschriebenen genauen Meßversuche auch für zahlreiche qualitative Versuche sich wohl unentbehrlich machen wird (ds. Zeitschr. *XIX*, *200*). In folgender Weise kann man Luftstickstoff in größeren Mengen durch verbrennendes Magnesium binden und die Entstehung des Nitrids wirksam demonstrieren. Ein durch Schlagen

ähnlich scheinen, muß davon aber wesentlich verschieden sein, weil es nach Prof. Julius die Hauptbedingungen nicht erfüllt.

verdichteter Bausch von Magnesiumspänen verbrennt nur äußerlich zu Oxyd; im Innern ist hinterher viel Nitrid vorhanden (*Dammer, Handb. d. anorgan. Chemie IV, 523*). Läßt man die in Luft begonnene Verbrennung in reinerem Stickstoff gleichsam weitergehen, so zeigt sich, daß die Nitrierung wenigstens kleinerer Magnesiummengen bald ins Stocken kommt. Auch das Verfahren von König (ds. Zeitschr. *XX, 28*) liefert nur eine „im Innern graue Masse", die also nicht die charakteristisch gelbgrüne Farbe reineren Magnesiumnitrids hat.

Meine Versuche zur Gewinnung der letzteren ließen es vielmehr ratsam erscheinen, den Vorgang bis zuletzt in gewöhnlicher Luft stattfinden zu lassen, durch eine Drahtnetzhülle aber die Metallmasse zusammen zu halten und den Luftzutritt zu beschränken, so daß in das Innere nur der außen an Sauerstoff arm gewordene Stickstoff gelangt, während die Verbrennung von außen die Temperatur des Ganzen hochhält. Aus einem Stück von ziemlich engmaschigem Messingdrahtnetz formt man durch Biegen über einem Glasrohr einen etwa 6 cm langen Zylinder von 2 cm Durchmesser. Zur Verhinderung des Offenspringens biegt man einige Randstellen an den Zylinderöffnungen nach innen um, so daß zwei Lagen des Drahtnetzes vereinigt sind. Größtenteils braucht die Zylinderwandung nur eine Lage Drahtnetz zu haben. Während man mit einem Kork oder auch mit dem halb hineingesteckten Daumen dem Zylinder einen Abschluß gibt, schüttet man Magnesiumspäne hinein und drückt sie mit dem Finger zusammen. Vollkommener würde man die Verdichtung bewerkstelligen, wenn die Drahtnetzrolle in einen kurzen Metallzylinder gebracht und ein massiver Pflock mit Hammerschlägen nachgeschoben würde. Der dem Versuche entsprechend etwas lockere Bausch der Späne wird zuletzt durch Zusammenbiegen der überragenden Drahtnetzwände abgeschlossen.

Die so vorbereitete Magnesiumpatrone wird beim Versuche selbst auf einem Tiegeldreieck mittels der Bunsenflamme entzündet. Man muß hierzu die Flammenspitze längere Zeit gegen die Mitte des Bausches richten. Hat das Metall einmal Feuer gefangen, so pflanzt sich dieses bald durch die ganze Masse fort, die dabei in schönem, nicht zu blendendem Lichte glüht, während bläulich leuchtende Rauchmassen in nicht belästigender Weise aufsteigen. Erst nach geraumer Zeit erlischt das Licht. Nach dem Erkalten zerbricht oder zerschneidet man die Masse. Bis zu einigen Millimetern Tiefe besteht sie aus weißem Oxyd; der Kern ist gelblichgrünes Magnesiumnitrid. Wirft man die zerbröckelte Masse in etwas Wasser, so wird unter sehr heftigem Aufbrausen und Erhitzen Wasserstoff und Ammoniak entwickelt. Das Entstehen sehr reichlicher Salmiaknebel macht die Bindung des Luftstickstoffs augenscheinlich. Daß diese in so großem Umfange durch das Magnesium vor sich ging, zeigt besonders die Verwendung der Anordnung von Brandstätter (ds. Zeitschr. *IX, 171*) für Salmiaknebel. Die eine der beiden Gaswaschflaschen wird mit konzentrierter Salzsäure, die andere mit etwas Wasser beschickt und zunächst gezeigt, daß beim Hindurchtreten des sich gabelnden und dann wieder vereinigenden Luftstromes nur das gewöhnliche Rauchen der konzentrierten Säure in feuchter Luft bemerkbar ist. Hat man hierauf in das Wasser Magnesiumnitrid geschüttet, so können ungeheure Mengen des dichtesten Nebels herausgeblasen werden. Einfacher und ebenfalls verwendbar ist eine Hintereinanderschaltung der beiden Waschflaschen. An der Flasche mit dem Wasser und dem Nitrid darf man nur mit der gleichen Vorsicht wie an höchst konzentriertem Salmiakgeist riechen. Magnesiumspäne werden von Gustav Müller in Ilmenau mitversandt.

Versuche mit einfachen Mitteln.

Verwendung von Seifenblasen, die mit Tabakrauch gefüllt sind. Von R. Danneberg in Dresden. Man kann für einige physikalische Versuche außerordentlich anschaulich mit Tabakrauch gefüllte Seifenblasen verwenden. Benutzt man z. B. als Pfeife ein knieförmiges Glasrohr, das auf der einen Seite zur Spitze ausgezogen ist, dessen anderes Ende zu einem Trichter erweitert wurde, und bläst nun, nachdem man vorher einen kräftigen Zug an einer Zigarre getan hat, mit dem Rauch eine Seifenblase, so ist zunächst allen Hörern die milchweiße Kugel sichtbar. Bald entweicht dann der Spitze ein feiner Rauchstrahl. Die Seifenblase übt einen Druck aus, der so unmittelbar allen sichtbar gemacht ist. Läßt man, wie üblich, ein Licht mit Hilfe dieses Luftstromes ausblasen, so kann man dabei auf die Rauchverbrennung aufmerksam machen. Das Licht verzehrt den Rauch.

Man verbinde ein T-förmiges Glasrohr mit 3 Kautschukschläuchen; der mittlere dient zum Einblasen, die beiden anderen *a* und *b* werden mit Tonpfeifen verbunden, und das Ganze wird so auf einem Brett befestigt, daß die Pfeifenköpfe nach unten hängen. Man bläst nun eine große Seifenblase, indem man, sagen wir, den Schlauch *a* zuhält. Dann hält man *b* zu, nimmt Rauch aus der Zigarre und bläst an der anderen Pfeife eine kleinere Blase mit Rauch. Nun schließt man den mittleren Schlauch durch einen Quetschhahn. Die größere Oberflächenspannung der kleinen Blase drückt den Rauch in die größere hinüber. Man sieht in ihr einen Rauchfaden ruhig hinabfallen, der den Boden der Blase langsam anfüllt. Bläst man den größeren Ballon mit Rauch, den kleineren mit reiner Luft, so gelingt der Versuch nicht. Die große Blase wird mit der Zeit durchsichtiger. Die Versuchsanordnung hat vor der von WEINHOLD angegebenen den Vorzug der größeren Handlichkeit, auch ist die Vergrößerung der großen Blase an dem einströmenden Rauche unmittelbar zu sehen, und man hängt deswegen nicht allzu sehr von einer launischen Seifenlösung ab.

Ich benutze für diese Versuche eine einfache Lösung von dem in den Handel gebrachten ölsauren Natron in Wasser unter Zusatz von einigen Tropfen Glyzerin. Man kann dann durch Versuch sehr schnell ausprobieren, ob ein Zusatz von Glyzerin oder Wasser die Seifenblase haltbarer macht. Diese Lösung reicht für die Versuche völlig aus und nimmt zur Herstellung wenig Zeit in Anspruch.

Die Elastizität der Seifenblasen kann man natürlich auch mit den mit Rauch gefüllten Blasen anschaulicher zeigen. Große milchweiße Ballons lassen sich bequem mit dem Rockärmel in die Höhe treiben. Läßt man eine solche Blase auf ein ausgebreitetes Stück Samt fallen, so springt sie erst wieder in die Höhe und bleibt dann auf dem Samt stehen. Zerspringt sie, so kann man sehr schön die Adhäsion des Rauches an dem Stoffe zeigen. Der Rauch zieht sich auf dem Sammet in Schwaden breit und wird dort so festgehalten, daß man noch nach Minuten Rauch von dem Stoffe sichtbar wegblasen kann.

Man lege auf den Boden eines weiten Glasgefäßes ein Stück Sammet, darunter eine ebene Drahtspirale aus dünnem Kupferdraht, deren Windungen eine Kreisfläche von ca. 10 mm Durchmesser dicht anfüllen und zu deren Enden längs der Glaswände dicke Zuleitungsdrähte führen (cf. Paul Czermak, Über warme Luft- und Flüssigkeitsströme, *Wiedem. Ann. 50, 33*). Dann bläst man eine Seifenblase mit Tabakrauch von wesentlich kleinerem Durchmesser als die Glasöffnung und fängt diese Blase vorsichtig mit dem Gefäße auf, so daß sie sich auf den Samt des Bodens aufsetzt. Nun wartet man, bis sie platzt; der Rauch füllt den Boden des Gefäßes an und kommt bald zur Ruhe. Läßt man nun den elektrischen Strom durch die Spirale gehen, so erwärmt sich dieselbe, und es kommt eine Strömung der erwärmten Luft zustande. Der Rauch steigt in dünnem Faden empor und bildet oben abgekühlt eine pilzähnliche Erscheinung.

Für die Praxis.

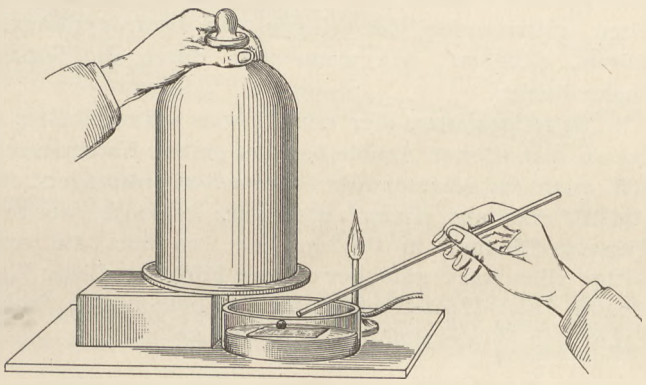
Handhabung des Spiegelgalvanoskopes nebst Thermoelement für niedere Temperaturen. Von **H. Rebenstorff.** Eine wesentliche Verbesserung unseres früher mit Kohlefadenlämpchen versehenen Spiegelgalvanoskopes war das Einfügen einer kleinen Osramlampe. Der Halter hierfür wurde so gedreht und gebogen, daß die eine Hälfte des haarnadelartigen Metallfadens genau ein senkrechtes Lichtzeigerbild gibt und dabei die andere Hälfte gerade überdeckt. Das Lämpchen ist für 6 Volt bestimmt, erträgt aber lange Zeit hindurch 8 Volt. Den Strom liefern die für den sonstigen Unterrichtsgebrauch bestimmten Akkumulatoren. Es entsteht so eine helle scharfe Lichtlinie von fast Halbmeterlänge auf der 4 m langen Skala an der anderen Zimmer-Seitenwand. Das Zimmer braucht nicht oder (bei Sonnenschein) nur teilweise verdunkelt zu werden. Zur genauen Einstellung auf den Nullpunkt der Skala bringt man die Lichtlinie durch Hin- und Herrücken eines auf dem Konsolenbrette neben dem Galvanoskop stehenden kleinen Magnetes, bestehend aus einer halben magnetisierten Stricknadel, die senkrecht in einem Korke steckt. Letzterer ist auf einem Bleiplattenabschnitt als Fußplatte festgesiegelt. Bewirkt das erstmalige Näherschieben des kleinen Ausgleichers die entgegengesetzte Bewegung des Lichtzeigers, so kehrt man das Stahlstäbchen im Korke um.

Der den Zuleitungsdrähten zum Galvanoskop bei uns vorgeschaltete Verzweigungsapparat bewirkt eine erheblich andere Stromschwächung, als den Aufschriften neben den Stöpseln entspricht. Um die Ablenkung des Lichtzeigers durch Ströme von bekannter Stärke gleich einer runden Anzahl von Dezimetern auf der Skala zu machen, wurde mit dem einen Klemmenpaar des Verzweigungsapparates ein kleiner weiterer Nebenschluß verbunden. Derselbe besteht aus einem Brettstückchen von 4 cm Dicke, das einige paraffinierte Bohrlöcher zur Aufnahme von Quecksilber besitzt. In das erste Paar dieser Löcher tauchen zwei rechtwinklig herabgebogene kurze Kupferdrähte, die im einen Klemmenpaar der Verzweigungsvorrichtung festgeschraubt sind. Das gleiche Lochpaar wird beim Gebrauche der Vorrichtung von dem geeigneten Widerstande überbrückt. Man kann denselben sehr leicht aus blankem Konstantandraht herstellen, dessen Länge durch Probieren gefunden wird. Verfasser benutzt selbsthergestellte kleine Widerstandsrollen, die für genaue Messungen in bekannter Weise aus Konstantandraht mit angelöteten Kupferenden vorgerichtet wurden (Luther-Ostwald, *Handbuch phys.-chem. Messungen, 2. Aufl. S. 355*).

Die anschauliche Vorführung niederer Temperaturen wird ermöglicht durch ein ebenfalls gleich am Verzweigungsapparat festgeschraubtes Thermoelement, bestehend aus 40 cm langen Eisen- und Konstantandrahtstücken von etwa 1 mm Dicke. Die Drähte sind am freien Ende nach dem Zusammenwinden mit Zinn verlötet. Sie führen zunächst von den Schraubklemmen fast wagerecht, etwas aufwärts fort und sind mit der zweiten Hälfte knieförmig herabgebogen, so daß man die nach unten gerichtete Lötstelle durch Anfassen der Verzweigungsvorrichtung sehr bequem in Kältebäder versenken kann. Die Ergänzung dieser Vorrichtung hebt man mit der anderen Hand gleichzeitig an oder vereinigt sie durch ein gemeinsames Grundbrettchen. Durch Ändern des Nebenschlusses kann man die Ablenkung des Lichtzeigers beim Überführen des Thermoelementes aus Wasser von 20^0 in Schnee gleich 2 dm machen. Nach Einsenken der Lötstelle in flüssige Luft stellt sich trotz Größe der Temperaturdifferenz etwa die zehnfache Ablenkung, entsprechend der ungefähr zehnfachen Abkühlung, heraus. Wird die Ablenkung des Lichtzeigers nicht mehr größer, so hat man damit eine Eichung für -190^0. Nicht ganz so schnell findet der Temperaturausgleich statt, wenn die Lötstelle in ein Reagenzglas mit etwas Flüssigkeit und mit diesem zusammen in die flüssige Luft gesenkt wird. Das Er-

starren der Flüssigkeit macht sich durch Stocken der Wanderung des Lichtzeigers bemerkbar. Sehr deutlich wird diese Wirkung der latenten Wärme in Äther, dessen Erstarrungspunkt bei — 118° liegt. Hier hört die Wanderung des Lichtzeigers für einige Sekunden ganz auf, die Nadel schwingt sogar ein Stückchen nach rückwärts. In Alkohol sowie in Petroläther und anderen Gemischen wird die Bewegung des Lichtzeigers nur einige Zeit hindurch ganz langsam, zum Teil dem zunächst teigigen Zustande der erstarrenden Flüssigkeit entsprechend.

Natrium auf Wasser. Von H. Rebenstorff in Dresden. Gewisse Verbrennungsversuche liefern in kleineren Räumen ohne Abzug belästigende Rauchmengen. Bei schnellem Hantieren gelingt es indessen, mit einer darübergestülpten oder wenigstens darübergehaltenen großen Glasglocke den größten Teil der Luftverschlechterung fernzuhalten. In einzelnen Fällen kann man dabei noch Bemerkenswertes beobachten lassen. Besonders lästig, weil hustenerregend, ist der weiße Rauch über verbrennendem Natrium oder Kalium. Die Figur zeigt, wie man ihn größtenteils einfängt, wenn der Versuch gemacht wird, das nach dem Verbrennen von Natrium auf schwimmendem Fließpapier zurückbleibende Kügelchen von Hydroxyd mit dem erhitzten Glasstabende abzufangen (ds. Zeitschr. *XIII* 220). Die Glasglocke kann man gleich darauf auf eine Schliffplatte niedersetzen. Öffnet man den Tubus, so sieht man noch nach geraumer Zeit einen weißen Rauchfaden daraus emporsteigen. Die nicht leuchtende Bunsenflamme färbt sich hellgelb, wenn der Rauch sie durchzieht. Sehr wirksam demonstriert man diese Flammenfärbung für einige Sekunden, wenn die Glocke emporgehoben und eine Bunsenflamme von unten in sie hineingehalten wird. Bei der Ausbreitung des Rauches im Zimmer zeigen sich die belästigenden Eigenschaften jetzt fast gar nicht mehr. Die Kohlensäure der Flammengase hat die scharfen Teilchen in das milder wirkende Karbonat übergeführt. Auch nach Einbringen von Kohlensäure anderer Herkunft (Entleeren eines damit etwas aufgeblähten Ballons in die Glocke hinein) wird der Glockeninhalt seiner Ätzwirkung beraubt. Beim Stehen auf der Glasplatte scheidet sich weißer Anflug von Karbonat ab.



Nicht ohne Interesse ist wohl, daß die eigenartig starke Adhäsion des Hydroxydkügelchens beim Berühren mit dem heißen Glasstabende bereits eintritt, wenn dieses nur wenig erhitzt ist. Man kann in einem über einer kleinen Flamme senkrecht eingespannten Reagenzglase mit Quecksilber das Glasstabende auf annähernd bekannte Temperaturen erwärmen, wenn zugleich oder von Zeit zu Zeit ein Thermometer mit eingesenkt wird. Es gelang leicht, die im Leidenfrostschen Zustande während einiger Sekunden auf der nassen Papierfläche verbleibenden Kügelchen durch Berühren abzufangen, wenn das Glas noch nicht ganz auf 150° erhitzt war. Auch dann breitet sich der Hydroxydtropfen fast momentan um das Glasstabende herum aus. Es empfiehlt sich, den Versuch immer nur mit geringen Mengen von Natrium auszuführen. Die erkaltete Probe des Hydroxyds genügt stets zum Betrachten des Verbrennungs-

produktes beim Herumgeben. Sie wird schnell so feucht, daß sie auch trocknes Lackmuspapier blau befleckt; beim Umrühren von Wasser mit etwas Phenolphthalein ist die alkalische Reaktion sehr auffallend. Eigenartig ist die bläuliche Färbung des erstarrten Hydroxyds. Man vermißt sie auch nicht, wenn das bestens aufbewahrte Natriummetall mittels eines reinen Platinbleches zerschnitten wurde. Absichtlich dem auf Wasser gebrachten Natriumstückchen beigefügtes Eisenoxyd ruft eine mehr grünbraune Färbung des hinterbleibenden Hydroxyds hervor. Die Färbung des zurückbleibenden Hydroxyds ist wohl nicht durch Beimengungen, sondern analog der Färbung von Steinsalz durch feinverteilte Reste des metallischen Natriums bewirkt. Durch Erhitzen geht die Färbung fort. Auch die Lösung des Natriums in verflüssigtem Ammoniak ist bekanntlich blau. Das Abfangen des Hydroxyds geschieht besonders sicher, wenn man das in einer Flamme erhitzte Glasstabende bereits über die Natriumflamme auf dem nassen Papier hält, wenn diese dem Erlöschen nahe ist. Man braucht nach dem Verschwinden der Flamme dann nur mit dem Glasstabe leise nach unten zu tupfen. Um durch die helle Flamme nicht geblendet zu werden, blickt man nicht in dieselbe selbst hinein, sondern einwenig daneben. Wenn man die Augen bei dem Versuche durch eine Brille schützt, ist man für alle Fälle, ebenso bei dem selten auftretenden Zerspringen des Hydroxydkügelchens beim mangelhaften Berühren, gesichert, wie wenn man durch die Wand der darübergehaltenen Glasglocke blickt.

Es sei gestattet, hier den Hinweis anzuschließen, daß man von dem von Fredenhagen diskutierten Ausbleiben des gelben Natriumspektrums in Flammen ohne Sauerstoff auch bei elementaren Versuchsanordnungen etwas sehen kann. Senkt man nämlich eine aus einem unten kurz aufwärts gebogenen Glasrohre herausbrennende Wasserstoffflamme in Chlorgas ein, so hört die vorher durch das heiße natriumhaltige Glas stark gelb gewordene Färbung dieser Flamme sofort auf. Die nur noch heißere Chlor-Wasserstoffflamme ist bekanntlich fahlgrünlich. Beim Herausnehmen brennt der Wasserstoff sofort wieder gelb.

Einfache Vorrichtung zur Umkehr des Natriumlichtes. Von **Franz Schranzhofer** in Wien. Statt mit dem von Bunsen angegebenen Apparat läßt sich die Erscheinung viel einfacher und deutlicher durch die nachstehend beschriebene Vorrichtung zeigen.

Einen Teclu-Brenner versieht man mit einem Spaltaufsatz von 7 cm Spaltlänge und bringt dann in ungefähr 1 cm Höhe über dem Spalt ein rechteckiges ziemlich engmaschiges Eisendrahtnetz von 6 cm Länge und 1 cm Breite an, das man mit Kochsalz bestreut. Dreht man dann den Brenner voll auf und entzündet das Gas, so erhält man eine große intensiv gelb leuchtende Flamme.

Vor dieselbe bringt man einen kleinen Bunsenbrenner, dessen Brennerröhre man mit einem halbkugelförmigen Drahtnetz abgeschlossen hat, und reguliert den Gaszutritt derart, daß man eine höchstens 2 cm hohe schwach leuchtende Flamme erhält. Bringt man dieselbe der großen Flamme nahe und macht sie durch Einführung einer spiraligen Platindrahtschlinge, die mit Kochsalz bestreut ist, leuchtend, so erhält man einen durchaus schwarz gefärbten optischen Durchschnitt des Flammenmantels der kleinen Flamme, wenn man durch dieselbe auf die große Flamme blickt.

Berichte.

1. *Apparate und Versuche.*

Einige neue Versuchsanordnungen mit dem Projektionsapparat. Von P. LIESEGANG[1]).

a) Schattenversuche (Fig. 1). Dicht vor eine Mattglasscheibe, die vor die Projektionslaterne gesetzt ist und als lichtspendender Körper dient, wird eine große Irisblende gebracht, mittels der man die Größe der zur Wirkung kommenden leuchtenden Fläche verändern kann. Als schattenspendender Körper dient eine Kugel von 5 cm Durchmesser. Durch allmähliche Erweiterung der Irisöffnung lassen sich auf einem parallel oder schräg zu den Strahlen gestellten Schirm alle Schattenerscheinungen, Schlagschatten, Kernschatten, Halbschatten in ihrer wechselnden Ausdehnung demonstrieren.

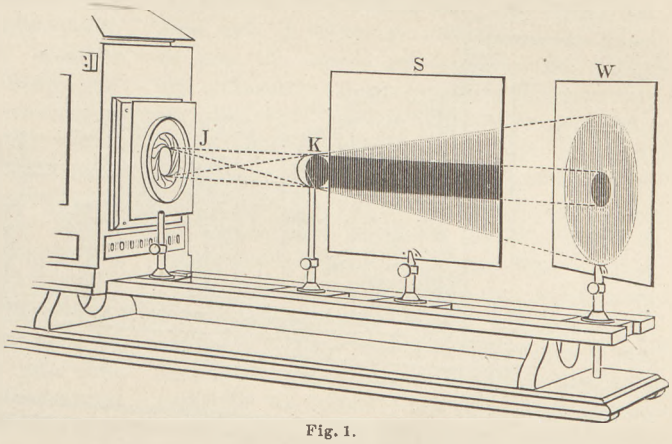


Fig. 1.

J = Irisblende (mit dahinter angebrachter Mattglasscheibe), geöffnet bis auf den Durchmesser der Kugel K; S = längsgestellter und W = schräggestellter weißer Schirm.

b) Mischung prismatischer Farben. Hierzu dient eine Platte mit zwei übereinander angeordneten Vertikalspalten, die sich einzeln in horizontaler Richtung verschieben lassen (Fig. 2). Von den zwei durch Objektiv und Prisma entwickelten Spektren wird das untere durch ein Ablenkungsprisma mit dem oberen ganz oder teilweise zur Deckung gebracht, und durch Verschieben des unteren Spaltes wird das eine Spektrum über das andere gezogen. Bei Anwendung eines achromatisierten Kalkspatprismas kann man mit einem Spalt auskommen.

c) Additive und subtraktive Farbenmischung. Eine Platte mit sechs runden, in zwei Reihen übereinander gestellten Öffnungen enthält die Farbenfilter. Eine Linse entwirft von diesen Öffnungen auf einem Schirm 6 Bildfelder. Durch einen nach beiden Seiten prismatisch geschliffenen Glaskörper (Doppelkeil) werden die beiden äußeren Felder der unteren Reihe nach innen abgelenkt und

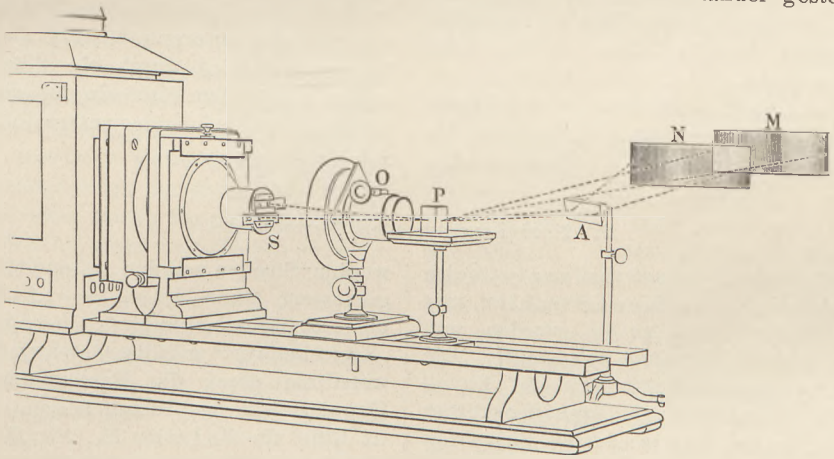


Fig. 2.

S = Platte mit zwei horizontal verschiebbaren Spalten; O = Objektiv; P = Prisma; A = Ablenkungsprisma; M und N = Spektren, wovon N beim Verschieben des unteren Spaltes über M zieht.

[1]) Vorgeführt auf der Naturforscherversammlung in Salzburg. Verhandl. d. Deutschen Phys. Ges. **11**, 420 (1909); Phys. Zeitschr. **10**, 780 (1909).

mit dem mittleren zur Deckung gebracht. Die drei oberen zum Vergleich dienenden Felder werden nicht abgelenkt. Durch weitere geeignete Verschiebung der Filter lassen sich sowohl Summen als auch Differenzen je zweier Farben demonstrieren. Man setzt zu dem Zweck die oberen Filterplatten so ein, daß sie sich vor der mittleren Öffnung überdecken (Differenzfarbe); gleichzeitig stellt man in der unteren Reihe durch Verdecken der mittleren Öffnung die Summationsfarbe her. So liefern gelb und blau oben die Differenz grün, unten die Summe weiß.

d) Helligkeitskontrast. Eine durchsichtige Platte besitzt eine kreisförmige, das durchfallende Licht stark schwächende Abdeckung. Durch eine Irisblende wird bei kleiner Öffnung nur die abgedeckte Stelle, bei größerer Öffnung auch die hellere Umgebung beleuchtet; das im ersten Falle helle Feld erscheint im zweiten Falle gegen die hellere Umgebung dunkel.

e) Kontrastfarben. Der vom Projektionsapparat gelieferte Lichtkegel wird mittels Glasplatte und Spiegel in zwei ungleich helle Bündel zerlegt, die auf einem Schirm zwei nebeneinanderliegende oder zur Deckung zu bringende Felder ergeben (Fig. 3). Das stärkere Lichtbündel wird durch ein Filter gefärbt und bringt in dem Bildfelde des schwächeren Lichtbündels die komplementäre Kontrastfarbe zur Erscheinung. *Schk.*

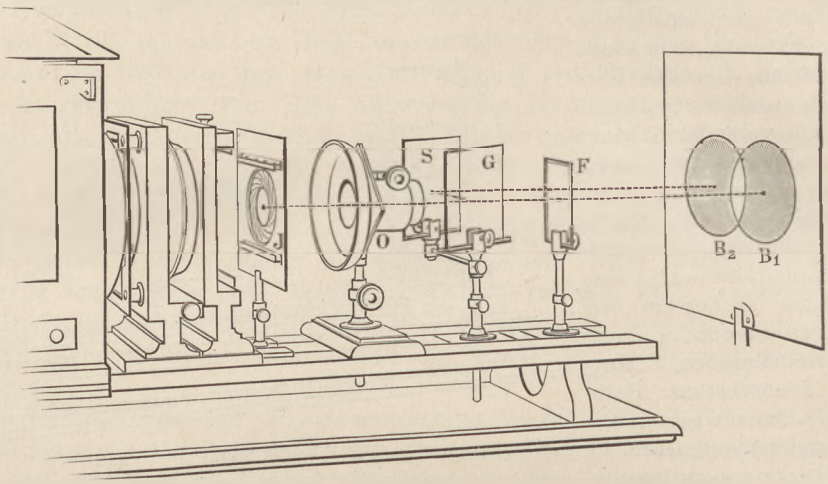


Fig. 3.

J = Irisblende; O = Objektiv; G = Glasscheibe unter 45°; S = Spiegel, parallel dazu; F = Farbglasscheibe; B_1 = gefärbtes Bildfeld des direkten Strahlenbündels; B_2 = Bildfeld des abgelenkten Strahlenbündels, das in der Kontrastfarbe erscheint.

2. *Forschungen und Ergebnisse.*

Kanalstrahlen. Spektralanalytische Beobachtungen an Kanalstrahlen mit Hilfe großer Dispersion wurden von J. STARK und W. STEUBING angestellt[1]). Die Untersuchung beschränkte sich auf Kanalstrahlen im Wasserstoff; als Dispersionskörper diente ein großes Rowlandsches Plangitter. Die Kanalstrahlen liefen im Visionsradius auf den Beobachter zu; der Dopplereffekt erschien also auf der Seite der kürzeren Wellenlängen. Zuerst bestimmten die Verff. den ersten „Schwellenwert der Geschwindigkeit für das Auftreten der bewegten Intensität". Dazu wurde der Dunkelraum zwischen dem „bewegten" Streifen und der „ruhenden" Linie $\Delta\lambda_1$ gemessen; dann ist $v_1 = c\,(\Delta\lambda_1/\lambda)$, wo c die Lichtgeschwindigkeit bedeutet. Der „Schwellenwert" gibt die Geschwindigkeit an, unterhalb deren die Kanalstrahlen keinen Dopplereffekt beobachten lassen. Es war v_1 im Mittel für die Linien $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$, $H\delta$ bzw. gleich $1{,}07 \cdot 10^7$, $1{,}26 \cdot 10^7$, $1{,}28 \cdot 10^7$, $1{,}39 \cdot 10^7$ cm sec^{-1}. Die Zahlen ergeben, daß $v_1/\sqrt{\lambda}$ nahezu konstant ist, d. h. in der Wasserstoffserie ist der Schwellenwert für das Auftreten einer bewegten Intensität umgekehrt proportional der Quadratwurzel aus der Wellenlänge.

Es wurde dann eine genaue Messung der Verteilungskurve der bewegten Intensität

[1]) Ann. d. Physik 28, 974 (1909).

im Geschwindigkeitsspektrum der Kanalstrahlen bei zunehmendem Kathodenfall, der die Kanalstrahlen erzeugt, vorgenommen. Dabei zeigte sich, daß die Verteilung der bewegten Intensität auf die vorkommenden Geschwindigkeiten sich mit dem Kathodenfall sehr erheblich ändert. Wenn man die photometrisch bestimmte Schwärzung des Negativs in ihrer Abhängigkeit von dem Abstande auf der Platte graphisch darstellt, ergeben sich z. B. für 600, 1200, 8000 Volt Kathodenfall ganz verschiedene Kurven, die mehrere Maxima und Minima zeigen. Die Verteilungskurven der verschiedenen Wasserstofflinien waren bei einem bestimmten Kathodenfall nicht ähnlich, vielmehr in dem Sinne voneinander verschieden, daß die bewegte Intensität größerer Geschwindigkeiten relativ zur Intensität kleinerer Geschwindigkeiten um so größer ist, je kleiner die Wellenlänge ist. Zwischen 390 und etwa 700 Volt Kathodenfall besteht die Verteilungskurve aus zwei Stufen, einer sehr niedrigen und einer sehr viel höheren Stufe. Die Verff. bestimmten den Geschwindigkeitswert, bei dem die zweite Stufe sich zu erheben beginnt (zweiter Schwellenwert v_2). Das Verhältnis $(v_2/v_1)^2$ hatte ungefähr den Wert 2.

Weitere Messungen betrafen die Beziehung zwischen der maximalen kinetischen Energie von Kanalstrahlen und der maximalen sie erzeugenden elektrischen Arbeit; es ergab sich, daß jene im Verhältnis zu dieser um so kleiner ist, je größer diese wird. Für die von der Glaswand reflektierten Kanalstrahlen (deren Dopplereffekt auf der langwelligen Seite der ruhenden Linie erscheint) nimmt die maximale kinetische Energie sowohl relativ zur maximalen Energie der einfallenden Kanalstrahlen als auch relativ zur maximalen elektrischen Arbeit ab, wenn diese Größen wachsen.

Den Dopplereffekt bei Kanalstrahlen von Neon beobachtete E. DORN[2]). Die „bewegte Linie“ war von der „ruhenden“ getrennt bei $\lambda = 6335$ Å-E, andere Linien waren stark oder schwach verbreitert. Die hellsten Linien zeigten nicht den stärksten Dopplereffekt.

Lichtelektrische Kanalstrahlen sind von H. DEMBER nachgewiesen und näher untersucht worden.[3]) Während bisher bei der lichtelektrischen Entladung nur Elektronen und negative Träger nachgewiesen wurden, gelang es dem Verf., auch positive Strahlen zu beobachten. Die mit Kanälen versehene, von ultraviolettem Licht bestrahlte Metallkathode war mit der Erde in Verbindung, während die gegenüberstehende Anode (ein Platindrahtnetz) auf ein konstantes positives Potential geladen war. Hinter der Kathodenplatte befand sich ein Faradayscher Zylinder, dessen Auffangplatte mit einem empfindlichen Elektrometer in Verbindung war. Das Ganze befand sich in einem zu evakuierenden Rohr, an das mit einem gut schließenden Schliff ein Ansatzrohr angesetzt war; dadurch war es möglich, die lichtelektrisch empfindliche Metallplatte herauszunehmen, um sie abzuschaben bzw. auszuwechseln. Als ultraviolette Lichtquelle diente eine Quarzquecksilberdampflampe von Heräus. Als lichtelektrisch empfindliche Substanzen dienten bei den ersten Versuchen Zink und Magnesium, später auch Aluminium, Kupfer, Gold. Die Messungen erfolgten sowohl bei höheren Drucken (0,0022 und 0,0008 mm *Hg*), als auch bei sehr niedrigen (0,000008 bis 0,000011 mm *Hg*). Das Elektrometer zeigte stets eine von den Kanalstrahlen erzeugte positive Ladung, deren Stärke mit wachsender Potentialdifferenz zwischen Anode und Kathode zuerst rasch, dann langsamer zunahm, bei höheren Drucken und höheren Potentialen wieder sehr rasch anstieg. Die Versuche zeigten, daß man zwei Arten positiver Strahlen unterscheiden muß. 1. Die inneren positiven Strahlen, die aus Metallionen bestehen, die, eine gewisse Menge der Energie des einfallenden Lichtes absorbierend, das Metall mit Geschwindigkeiten verlassen, die zwischen 0 und 5 Volt liegen. 2. Äußere positive Strahlen, das sind positive Träger, die durch den Zusammenstoß der von einer Potentialdifferenz von mehr als 7 Volt beschleunigten lichtelektrischen Kathodenstrahlen mit den Gasresten entstehen. Für diese gelten analoge Existenzbedingungen wie für die negativen Träger der lichtelektrischen Entladung; bei einem bestimmten Druck erreicht ihre Zahl ein Maximum.

Zu ähnlichen Schlußfolgerungen führen die Versuche von W. WIEN über die magnetische Beeinflussung der gewöhnlichen Kanalstrahlen bei verschiedenen Drucken[4]). Über den Anfang dieser Versuche wurde bereits in dieser Zeitschr. (*22, 316*) berichtet. Die Strahlen traten aus der Entladungsröhre durch die Durchbohrung einer Eisenkathode zunächst in eine Kapillare

[2]) Phys. Zeitschr. **10,** 614 (1909).

[3]) Ann. d. Physik **26,** 403 (1908); **30,** 137 (1909).

[4]) Ann. d. Physik **30,** 349 (1909).

und von da in die besonders zu evakuierende Beobachtungsröhre, in die Wasserstoff geleitet wurde. Durch die Einschaltung von Kapillaren war es möglich, den Druck in beiden Röhren verschieden hoch zu machen. Etwas anders war die Anordnung bei Anwendung von Luft sowie bei Quecksilberdampf. Die Strahlen passierten, wie bei den früheren Versuchen, nacheinander zwei magnetische Felder. Die Intensität der Strahlung wurde durch ihre Wärmewirkung mit der Thermosäule bestimmt, die Lichtemission durch Vergleichung mit dem Licht einer Geißlerschen Röhre. Es zeigte sich, daß die bei gleicher Spannung in Wasserstoff erzeugten Kanalstrahlen, wenn sie in das Gas von höherer Verdünnung treten, magnetisch weniger beeinflußt werden, als wenn sie sich bei geringerer Verdünnung fortbewegen. Die Strahlen, welche durch ein Magnetfeld geschwächt sind, werden auch in ihrer Wärmewirkung und Lichtemission durch ein zweites Magnetfeld annähernd in demselben Verhältnis geschwächt wie solche Strahlen, auf die das erste Magnetfeld nicht eingewirkt hat. Die Lichtemission ist unter sonst gleichen Bedingungen in hohen Verdünnungen erheblich geringer als in niedrigen, und zwar sowohl bei Wasserstoff als bei Luft. Weder bei höherem noch bei niederem Gasdruck ist die magnetische Einwirkung in erkennbarer Weise vom Gasdruck abhängig. Beobachtungen an positiven Strahlen des Quecksilbers ergaben, daß diese keine merkliche positive Ladung transportieren; eine Ablenkung war auch in starken magnetischen Feldern durch direkte Beobachtung der Lichtemission nicht wahrzunehmen. Wien erklärt seine Beobachtungen durch die bereits erwähnte Annahme der fortgesetzten Neutralisation und Neubildung positiver Ionen. Die letztere erfolgt ebenso wie bei den äußeren Strahlen Dembers durch Zusammenstoß mit den Gasmolekeln. Bei höheren Drucken tritt dieser Zusammenstoß häufiger ein als bei niederen; die stärkere magnetische Einwirkung dort entspricht der größeren Zahl positiver Ionen. Bei einem bestimmten Druck halten sich Dissoziation und Neutralisation das Gleichgewicht. Im Quecksilberdampf wird die Neutralisation durch die massenhaft vorhandenen Elektronen sehr begünstigt; daher sind die positiven Ionen nicht nachweisbar. *Schk.*

Über Phosphoreszenz. Zu dem im vorigen Jahrgang dieser Zeitschrift (*S. 289*) veröffentlichten Aufsatz von C. Sternstein, Zusammenstellung von Versuchen über Fluoreszenz und Phosphoreszenz, gestatte ich mir zu bemerken, daß ähnlich der Fluoreszenz auch die durch Belichtung erregte Phosphoreszenz in den meisten, wenn nicht in allen Fällen eine Eigenschaft der Lösungen ist; nur handelt es sich hier nicht um flüssige, sondern um feste Lösungen. Wie nämlich P. Lenard und V. Klatt bereits im Jahre 1889 nachgewiesen haben (*Wiedemanns Annalen 38, 90*), zeigen die Erdalkalisulfide die seit langer Zeit bekannte Phosphoreszenz nicht, wenn sie im völlig reinen Zustand belichtet werden, sondern nur dann, wenn ihnen gewisse Metalle und ein als Zusatz bezeichnetes Salz beigemischt sind. Letzteres schmilzt bei der Bereitung des Erdalkaliphosphors und ruft, indem es die aus dem Erdalkalisulfid und dem Metall bestehenden Emissionszentren auflöst, eine bestimmte Verteilung derselben hervor, die zum Zustandekommen der Phosphoreszenz notwendig ist. Wird diese Verteilung (z. B. durch Druck) geändert, so geht die Eigenschaft, zu phosphoreszieren, verloren. Auch gelingt die Darstellung der Erdalkaliphosphore nur im Schmelzfluß, niemals aber auf kaltem oder nassem Wege.

Als wirksame Metalle hatten Lenard und Klatt in der genannten Untersuchung zunächst das Kupfer, Mangan und Wismut gefunden, die, in wachsenden Mengen dem Erdalkalisulfid zugefügt, zunächst eine meist rasch erfolgende Steigerung der Intensität des Phosphoreszenzlichtes bis zu einem Optimum bewirken. Dieses bleibt dann bis zu einem gewissen Gehalt an Metall konstant, und bei noch weiterer Steigerung des Metallzusatzes nimmt die Intensität des Phosphoreszenzlichtes meist ebenfalls rasch ab. In einer ausgedehnteren Untersuchung, die im Jahre 1904 zum Abschluß gelangte, und über deren Ergebnisse in den Annalen der Physik und Chemie (4. Reihe, Bd. 15, S. 225, 425, 633) berichtet worden ist, fanden die genannten Forscher, daß noch andere Metalle zu dem gedachten Zweck brauchbar sind: dem Kupfer gesellen sich Blei, Silber und Zink, dem Mangan das Nickel, dem Wismut das Antimon zu. Daneben gibt es noch eine große Zahl von Metallen, deren Wirkung sich nicht mit voller Sicherheit erkennen ließ. Untersuchungen von J. de Kowalski und seinen Schülern (1907) haben gezeigt, daß auch die Metalle der seltenen Erden (Praseodym, Neodym, Samarium und Erbium), den Sulfiden des Strontiums und Calciums beigemischt,

phosphoreszierende Präparate liefern. Der dem Optimum der Phosphoreszenz entsprechende Metallgehalt ist stets sehr gering; so enthielten die von Lenard und Klatt dargestellten Kalkphosphore z. B. auf 1 g Calciumsulfid 6—7 mg Kupfer bzw. 0,46 mg Mangan, 0,24 mg Wismut oder 0,28 mg Blei; die Metalle wurden in der Form wässeriger Lösungen der beim Glühen zerfallenden Nitrate dem Sulfid zugesetzt. Die von J. de Kowalski dargestellten Phosphore enthielten auf 1 g Calciumsulfid z. B. $^1/_{6000}$ g, auf 1 g Strontiumsulfid nur $^1/_{25000}$ g Samarium. Das Erdalkalisulfid darf in dem Phosphor zwar nie ganz fehlen, kann aber in weitgehendem Betrag durch andere Verbindungen des Erdalkalimetalls, z. B. durch das beim Glühen von Calciumkarbonat und Schwefel neben dem Sulfid entstehende Sulfat, ersetzt werden. Da noch erheblich geringere als die eben angegebenen Mengen der Metalle den Sulfiden die Fähigkeit der Phosphoreszenz verleihen können, ist es begreiflich, daß man ihre Bedeutung für die Phosphoreszenz lange Zeit nicht erkannt hat, da z. B. das Mangan ein weit verbreitetes Metall ist, und auch das Kupfer leicht aus dem Material der Schmelzgefäße in das Sulfid übertritt; denn wie Lenard und Klatt fanden, ist das technisch verwendete Platin fast immer kupferhaltig.

Die Zusätze sind, wie bereits erwähnt wurde, schmelzbare Salze. Lenard und Klatt verwendeten außer Calciumfluorid nur Salze der Alkalien (Sulfate, Phosphate und Borate vom Natrium, Lithium und Kalium, Natriumthiosulfat, Natrium- und Kaliumchlorid für sich oder miteinander gemischt); J. de Kowalski benutzte auch das Magnesiumsulfat.

Jedem der zuvor genannten Metalle kommt nur eine bestimmte Anzahl von Banden in dem Spektrum des Phosphoreszenzlichtes zu, deren Lage sich mit der Temperatur, bei der dieses Licht ausgesandt wird, etwas verschiebt. Der Einfluß der Zusätze äußert sich in der Weise, daß mit ihrer Veränderung die gegenseitige Intensität der einzelnen Banden eine andere wird, wodurch sich die Farbe des Phosphoreszenzlichtes ebenfalls ändert. Durch eine passende Auswahl der Metalle und der Zusätze kann man daher Erdalkaliphosphore darstellen, deren Phosphoreszenzlicht innerhalb weiter Grenzen beliebig gefärbt ist. Freilich ist die Darstellung mühsam und zeitraubend, weil es sich zunächst um die Gewinnung von Karbonaten der Erdalkalimetalle und von Zusätzen handelt, die frei von den genannten Schwermetallen sind. Lenard und Klatt geben (namentlich auf S. 658 der zweiten Abhandlung) eine Reihe von Vorschriften an, wegen deren auf diese an experimentellem Material überaus reiche Abhandlung verwiesen werden muß.

Während Lenard und Klatt bei ihren zahlreichen spektroskopischen Untersuchungen des Phosphoreszenzspektrums die Stokessche Regel in keinem Falle deutlich verletzt fanden, haben Nichols und Merritt (*Physical Review 21, 247, 1905*) im Phosphoreszenzlicht der Sidotblende Wellenlängen beobachtet, die kürzer sind als die des erregenden Lichtes. Das Spektrum dieses Phosphoreszenzlichtes zeigt zwei Banden, deren Maxima im Grün ($\lambda = 0{,}507\ \mu$) bzw. am äußersten Ende des sichtbaren Spektrums ($\lambda = 0{,}432\ \mu$) liegen. Die grüne Bande erstreckt sich von $\lambda = 0{,}454\ \mu$ bis $\lambda = 0{,}556\ \mu$; sie wird aber durch Licht von $\lambda = 0{,}472\ \mu$ bis $\lambda = 0{,}497\ \mu$ noch deutlich erregt. Da die Stokessche Regel, wie bekannt (vgl. auch den Aufsatz von C. Sternstein, S. 295), auch in zahlreichen Fällen der Fluoreszenz nicht zutrifft, so muß ihre allgemeine Gültigkeit bei den Erscheinungen der Photolumineszenz überhaupt in Abrede gestellt werden.

Grunewald-Berlin. *H. Böttger.*

Zur Theorie der Strahlung. Über die Entwickelung unserer Anschauungen über das Wesen und die Konstitution der Strahlung sprach A. Einstein auf der Naturforscherversammlung in Salzburg [1]). Während die Existenz eines Lichtäthers bisher als fast unbezweifelbar erschienen war, müsse man heute die Ätherhypothese als einen überwundenen Standpunkt ansehen. Gewisse fundamentale Eigenschaften des Lichts ließen sich viel eher vom Standpunkte der Emissionstheorie als vom Standpunkte der Undulationstheorie aus begreifen. Um diese Anschauung zu begründen, betrachtete der Vortragende zunächst die Beziehungen des Äthers zu der bewegten Materie. Aus dem Versuche Fizeaus, der zwei durch strömendes Wasser hindurchgeleitete Strahlenbündel zur Interferenz brachte, ergab sich, daß die Lichtgeschwindigkeit hierbei um einen Bruchteil der Strömungsgeschwindigkeit des Wassers vermehrt wurde. Andrerseits hat aber eine Relativbewegung des Äthers gegen die bewegte Erde in keiner Weise beobachtet werden können. Lorentz gelangte auf der Grund-

[1]) Verh. d. Deutschen Phys. Ges. **11**, 482 (1909); Phys. Zeitschr. **10**, 817 (1909).

lage eines ruhenden, an den Bewegungen der Materie nicht teilnehmenden Äthers zu einer Theorie, die fast allen Erscheinungen gerecht wurde; nur zur Erklärung des Interferenzversuchs von Michelson und Morley mußten noch besondere Annahmen gemacht werden. Da jedoch alle Versuche, eine Relativbewegung zwischen Äther und Materie nachzuweisen, resultatlos verliefen, wurde das „Relativitätsprinzip" aufgestellt, welches besagte, „daß alle Naturgesetze in bezug auf ein relativ zum Äther gleichförmig bewegtes Koordinatensystem K_1 gleich seien den entsprechenden Gesetzen in bezug auf ein relativ zum Äther ruhendes Koordinatensystem K". Da man hiernach aber den Äther ebensogut zu K_1 wie zu K ruhend annehmen könne, so sei es, meint EINSTEIN, „überhaupt ganz unnatürlich, eines der beiden Koordinatensysteme K, K_1 dadurch auszuzeichnen, daß man einen relativ zu ihm ruhenden Äther einführt". Man verzichte daher lieber ganz auf die Ätherhypothese und sehe die das Licht konstituierenden elektromagnetischen Felder nicht als Zustände eines hypothetischen Mediums an, sondern als selbständige Gebilde, die von den Lichtquellen ausgesandt werden.

Der Vortragende zeigte weiter, daß die Lorentzsche Theorie mit dem Relativitätsprinzip zunächst nicht vereinbar zu sein scheine, daß dagegen eine Übereinstimmung eintrete, sobald man die Voraussetzungen jener Theorie fallen läßt, daß Zeitangaben sowie Angaben über die Gestalt von bewegten Körpern eine vom Bewegungszustande des benutzten Koordinatensystems unabhängige Bedeutung haben. Man gelangt dann zu neuen, die beiden Prinzipe eindeutig bestimmenden Gleichungen der Koordinatentransformation. Als Konsequenz der hierauf beruhenden „Relativitätstheorie" ergibt sich die überaus wichtige Tatsache, daß die träge Masse eines Körpers um L/c^2 abnimmt, wenn diese die Strahlungsenergie L mit der Geschwindigkeit c emittiert. Daraus würde folgen, daß jede Energieaufnahme bzw. -abgabe eine Zu- bzw. Abnahme der Masse des betreffenden Körpers mit sich bringt. Hiernach wären Energie und Masse ebenso äquivalente Größen wie Wärme und mechanische Energie. Die Relativitätstheorie führt also zu denselben Folgerungen wie die Emissionstheorie des Lichts, daß träge Masse vom emittierenden zum absorbierenden Körper übertragen wird.

Die weiteren Ausführungen EINSTEINS galten der Struktur der Strahlung, die ebenfalls nach neuen Gesichtspunkten betrachtet werden müsse. Einige fundamentale Eigenschaften der Lichtphänomene lassen sich mit der bisherigen Lichttheorie nicht erklären. Dahin gehören die Tatsachen, daß photochemische Wirkungen von der Wellenlänge, nicht aber von der Intensität der Strahlung abhängen, daß die Geschwindigkeit der lichtelektrisch erzeugten Kathodenstrahlen von der Intensität des Lichtes unabhängig ist, daß kurzwellige Strahlung nur bei hohen Temperaturen emittiert wird. EINSTEIN findet den Grund für diese Schwierigkeiten darin, daß der Elementarprozeß der Lichtemission nach der Undulationstheorie nicht umkehrbar ist. Die Energie eines lichtaussendenden Teilchens wird in einer Kugelwelle zerstreut und kann nicht wieder zu dem Teilchen zurückkehren. Bei der Emissionstheorie dagegen wird die Energie des emittierten Teilchens nicht über den unendlichen Raum zerstreut, sondern bleibt für einen Elementarprozeß der Absorption disponibel. Als Beispiel hierfür kann die Erzeugung sekundärer Kathodenstrahlen durch Röntgenstrahlen dienen. Primäre Kathodenstrahlen erzeugen auf einer Platte P_1 Röntgenstrahlen, diese auf einer Platte P_2 sekundäre Kathodenstrahlen. Die Geschwindigkeit der letzteren hängt weder von dem Abstande $P_1 P_2$ noch von der Intensität der primären Strahlen, sondern allein von der Geschwindigkeit der letzteren ab. Denkt man sich P_1 so klein, daß es nur von einem primären Elektron getroffen werden kann, so kann durch dieses an P_2 wieder ein sekundäres Elektron mit ähnlicher Geschwindigkeit erzeugt werden. Die Energie des primären Elektrons wird also nicht in einer Kugelwelle zerstreut, sondern bleibt für P_2 disponibel. Der Elementarvorgang der Strahlungsemission scheint gerichtet zu sein. Ferner scheinen die Erzeugung von Röntgenstrahlen an P_1 und von Kathodenstrahlen an P_2 inverse Prozesse zu sein.

Ähnliche Vorstellungen dürften nun auch für die Lichtstrahlung zutreffen. EINSTEIN geht näher auf die Plancksche Theorie der Temperaturstrahlung ein und zeigt, daß diese mit den Grundlagen der elektromagnetischen Theorie nicht vereinbar ist. Die Plancksche Theorie führt zu der Lichtquantenhypothese, nach der Emission und Absorption einer Strahlung nur in Quanten von bestimmter Energiegröße stattfinden. Für die Größe des Elementarquantums der Elektrizität ergab sich aus der Planckschen Strahlungsformel nahezu derselbe Wert wie er von Ruther-

ford und Regener durch Auszählung der α-Teilchen gefunden war (d. Zeitschr. **21**, 258, **22**, 183). Wegen der Übereinstimmung der Strahlungsformel mit der Erfahrung will EINSTEIN diese Formel gelten lassen und stellt die Frage, was aus ihr wohl in bezug auf die Konstitution der Strahlung gefolgert werden könne. Er denkt sich in einem mit idealem Gas und mit Strahlung erfüllten Hohlraum eine senkrecht zu ihrer Ebene bewegliche, auf beiden Seiten reflektierende Platte, die dann durch die kinetische Energie der Gasmoleküle und durch den Strahlungsdruck in Bewegung gesetzt wird. Aus der Strahlungstheorie berechnet er für den Fall, daß die Platte nur Strahlung einer bestimmten Frequenz reflektiert, die mittlere Größe der Impulse, welche die Platte infolge der Schwankungen des Strahlungsdrucks erhalten muß, damit statisches Gleichgewicht besteht. Für das Quadrat dieses Mittelwerts ergibt sich ein Ausdruck, der im wesentlichen aus zwei Gliedern besteht. Von dem zweiten dieser Glieder läßt sich nachweisen, daß es auf einer Undulationsstruktur der Strahlung beruht. Das erste Glied aber, das im Gültigkeitsbereich des Wienschen Strahlungsgesetzes den Einfluß des zweiten weit überwiegt, hat eine Form wie wenn die dadurch erzeugten Schwankungen des Strahlungsdrucks durch quantenartige Impulse hervorgerufen werden. Daraus würde folgen, „daß außer den räumlichen Ungleichmäßigkeiten in der Verteilung der Bewegungsgröße der Strahlung, die aus der Undulationstheorie hervorgehen, noch andere Ungleichmäßigkeiten in der räumlichen Verteilung der Bewegungsgröße vorhanden sind, welche bei geringer Energiedichte der Strahlung die erstgenannten Ungleichmäßigkeiten bei weitem überragen". Um sich hiervon ein Bild zu machen, kann man sich vorstellen, daß die Energie eines elektromagnetischen Feldes in singulären Punkten lokalisiert sei, deren jeder von einem Kraftfeld umgeben ist, das den Charakter einer ebenen Welle mit allmählich abnehmender Amplitude besitzt. Sind die Abstände der singulären Punkte klein, so überlagern sich die Kraftfelder und geben in ihrer Gesamtheit das undulatorische Feld der bisherigen Lichttheorie. In einer derartigen Auffassung ließen sich dann die Undulationsstruktur und die Quantenstruktur der Strahlung miteinander vereinigen.

Schk.

3. Geschichte und Erkenntnislehre.

Robert Mayers wissenschaftlicher Entwicklungsgang im Jahre 1841. Von A. v. ÖTTINGEN (*Abh. der math.-phys. Klasse der Kgl. sächs. Ges. d. Wiss., Bd. 31, Nr. III*). Der Verfasser knüpft an die weitverbreitete Legende an, daß R. Mayers erste Abhandlung von Poggendorff als ungeeignet für die Annalen der Physik abgewiesen worden sei, während Liebig sie bald darauf der Aufnahme in seine Annalen der Chemie und Pharmazie gewürdigt habe. Daß es sich in diesen beiden Fällen um zwei ganz verschiedene Abhandlungen gehandelt hat, zwischen denen sich eine bemerkenswerte Entwicklung in dem Denken Robert Mayers vollzogen hat, setzt A. v. ÖTTINGEN hier in dankenswerter Weise auseinander.

Schon der Titel der an Poggendorff gesandten Abhandlung war von dem der in Liebigs Annalen veröffentlichten völlig verschieden, er lautete „Über quantitative und qualitative Bestimmung der Kräfte". Das Manuskript dieser Abhandlung hatte Poggendorff allerdings verlegt und deshalb wahrscheinlich die Antwort aufgeschoben, bis die Sache in Vergessenheit geriet; erst 1881 hat Friedrich Zöllner das im Nachlaß aufgefundene Manuskript von den Poggendorffschen Erben erhalten und in seinen wissenschaftlichen Abhandlungen in photographisch-faksimilierter Reproduktion veröffentlicht; er beabsichtigte damit zugleich, Poggendorff gegen einen unverdienten Vorwurf zu schützen. Aber selbst Weyrauch, der Herausgeber der Mayerschen Briefe und Schriften, hielt noch 1890 diese Schrift für identisch mit der in den Liebigschen Annalen abgedruckten und die Ablehnung durch Poggendorff für ungerechtfertigt; die Schrift findet sich in den von Weyrauch 1893 herausgegebenen „Kleinen Schriften" Mayers abgedruckt. A. v. ÖTTINGEN gibt nun den Inhalt jener ersten Schrift genau an und zeigt, daß die Schrift in ihrer ersten Gestalt in der Tat zur Aufnahme in eine wissenschaftliche Zeitschrift nicht geeignet war. Wir heben hier nur einige Sätze davon heraus: „Alle Erscheinungen können wir von einer Urkraft ableiten, welche dahin wirkt, die bestehenden Differenzen aufzuheben, alles Seiende zu einer homogenen Masse in einem mathematischen Punkte zu vereinigen." — Die Bewegungsgröße MC wird als Energie aufgefaßt und diese als „das Verhältnis von In- und Extensität der Bewegung" definiert. „Maßgebend für die Energie der Bewegung

ist n in dem Ausdruck $\frac{M}{n} . nC$, in welchem n jede ganze und jede gebrochene Zahl sein kann.“ Dies n soll ein Ausdruck „der Elastizität des bewegten Körpers“ sein. Für den vollkommen elastischen Stoß wird $n = 1$; beim Zusammenprall zweier Massen unter einem Winkel geht stets ein Teil der Energie verloren oder wird, wie Mayer sagt, „neutralisiert“. — „Wird $n = \infty$, so erhalten wir die Art der Bewegung, die sich als Licht oder als strahlende Wärme kundgibt.“ — „Die Wärme geht in Bewegung dadurch über, daß sie die Körper ausdehnt; sie bringt . . . entgegengesetzte, aber allseitige radiale Bewegung hervor.“ — Den Beschluß des Aufsatzes bilden recht verworrene Auseinandersetzungen über die Zentralbewegung. „In den Sternensystemen ist die für uns unlösliche Aufgabe einer beständigen Kraftentwicklung, d. h. der Differenzierung von 0 zu $+ MC - MC$, von der Natur gelöst; die Frucht davon ist das Herrlichste der materiellen Welt, die ewige Quelle des Lichtes.“

Mayer hat späterhin (1863) selbst an dieser Arbeit Kritik geübt (Kl. Schriften, S. 378 ff.). Er sagt dort u. a.: „In den Kompendien der Physik war damals neben der Lehre vom Parallelogramm der Kräfte häufig MC als das Maß der Bewegung angegeben, und dieses, verbunden mit einem Überreste von aus der Kantschen naturphilosophischen Schule herstammenden Begriffen einer Zentripetal- und Zentrifugalkraft, führte mich in ein Labyrinth von Hypothesen und Widersprüchen . . . . Man kann sich leicht denken, daß ein derartiges, Ungereimtheiten und Extravaganzen enthaltendes System auf die Tübinger Professoren, denen ich im Sommer 1841 die Novität privatim vorlegte, keinen gewinnenden Eindruck machen konnte.“ [Die Arbeit wurde im Juni 1841 an Poggendorff geschickt.] „Inzwischen ließ ich mich aber dadurch von dem Grundgedanken der Äquivalenz von Arbeit und Wärme nicht abbringen, und da mir bald klar werden mußte, daß das Maß der Bewegung, die „Quantitas motus“, nur durch das Quadrat der Geschwindigkeit und nie durch die Geschwindigkeit zu bestimmen sei, . . . so gelang es mir auch, meine Gedanken in einer klareren Form zu geben, so daß ich im Spätjahr 1841 mein System dem damals in Heidelberg ansässigen Professor Jolly in dieser geläuterten Form vorlegen konnte.“

In der ersten Arbeit war vom Arbeitsäquivalent noch keine Rede; dieser Gedanke erscheint erst am 12. September 1841 in einem Briefe an Bauer. Die in Liebigs Annalen aufgenommene Abhandlung wurde im März 1842 abgesandt und erschien am 31. Mai 1842. In dieser Abhandlung sind die wesentlichen Irrtümer der ersten Schrift beseitigt. Mayer berechnete darin bekanntlich das mechanische Wärmeäquivalent aus dem Unterschied von C_p und C_v. Er erhielt eine um 13 % zu kleine Zahl, da er für C_p den Wert 0,267 statt des genaueren erst später ermittelten 0,2377 benutzte.

Mit der nächstfolgenden Arbeit „die organische Bewegung in ihrem Zusammenhange mit dem Stoffwechsel“ hatte Mayer auch bei Liebig kein Glück; er mußte sie als besondere Schrift erscheinen lassen, nachdem auch Cotta, der später alle seine Schriften herausgab, den Verlag abgelehnt hatte. Die erste umfangreiche Rezension durch den Physiker C. H. Pfaff fiel durchweg ablehnend aus, während in medizinischen Zeitschriften günstige Beurteilungen erschienen. Eine vierte, rein physiologische Arbeit scheint gar nicht gedruckt worden zu sein, nachdem Johannes Müller deren Aufnahme in das Archiv für Anatomie und Physiologie abgelehnt hatte weil die Materie zu ausführlicher Besprechung noch nicht reif sei; auch wolle er Erörterungen über Materien vermeiden, die von demselben Verfasser in besonderen Schriften verhandelt worden seien.

Überblickt man diese ganze Entwicklung, so kann es keinem Zweifel unterliegen, daß man Poggendorff mit Unrecht der Verkennung einer genialen Leistung beschuldigt hat; eine solche Leistung lag in der ersten Arbeit nicht vor. Der Grund dafür, daß auch die beiden Arbeiten von 1842 und 1845 ohne Erfolg blieben, erblickt A. v. Öttingen darin, daß man damals jeder Naturphilosophie abhold war. Versuche, Tatsachen wurden geschätzt, Spekulationen fast gefürchtet. Nur so erklärt es sich, daß Poggendorff 1847 auch Helmholtz' „Erhaltung der Kraft“ ablehnte, und daß auch dieser in den ersten Jahren so wenig Anerkennung fand. *P.*

Die angebliche Kenntnis des Blitzableiters vor Franklin. Von Dr. Richard Hennig (*Archiv für Geschichte der Naturwissenschaft und Technik, Bd. II, Heft 1*). Schon 20 Jahre, nachdem Benj. Franklin der Welt seine wundervolle Kunst, „Juppiter den Blitz zu entreißen“, bekannt gegeben hatte, wurde die Behauptung aufgestellt, die Erfindung sei nicht neu, vielmehr habe das Altertum die Gesetze der Blitzableitung schon gekannt. Poinsinet de

Sivry war der erste, der 1771 diese Anschauung vertrat; ihm schloß sich alsbald von deutschen Forschern der Regensburger Gymnasialrektor Ostertag an, und nunmehr verging kein Jahrzehnt, in dem nicht irgendwelche Beweise für oder gegen die Theorie von den antiken Blitzableitern beigebracht wurden. In Deutschland, in Frankreich, England, Dänemark, Österreich, Italien beteiligten sich Gelehrte an der Debatte über die Streitfrage, die sich zunächst hauptsächlich um die blitzableitende Wirkung der goldenen Spitzen auf dem herodianischen Tempel in Jerusalem und um die etruskische Blitzlehre drehte, d. h. um die wirkliche oder vermeintliche Kunst der alten Etrusker und Römer, die Blitze vom Himmel herabzulocken (Kult des Juppiter Elicius) und nach Belieben ihre Richtung zu bestimmen. Allmählich wurde immer mehr Beweismaterial beigebracht, aus dem die Kenntnis der Blitzableiter-Gesetze im Altertum gefolgert werden sollte, z. T. Material höchst überraschender Art: finden sich doch bei althellenischen wie bei mittelalterlichen Schriftstellern wiederholt ganz deutliche Hinweise darauf, daß aufwärts gerichtete, spitze Schwerter und Stangen mit eiserner Spitze die Unwetter unschädlich zu machen vermögen. Die große Mehrzahl der Forscher, die sich mit den einschlägigen Fragen befaßte, sprach sich daher mit großer Entschiedenheit für das Vorhandensein einer Kenntnis des Blitzableiters im Altertum aus, die mindestens in Form einer priesterlichen Geheimwissenschaft bestanden haben sollte. Nur wenige Gelehrte widersprachen dieser Meinung und suchten die vorhandenen Beweise als unzureichend hinzustellen. Am genauesten und gründlichsten untersuchte 1866 der Franzose Martin die damals schon fast 100 Jahre alte Streitfrage und gelangte zu einer bestimmten Ablehnung der Hypothese von den antiken Blitzableitern. Da aber wurden durch die deutschen Ägyptologen Brugsch und Dümichen einige Jahre später altägyptische Tempelinschriften aus Dendera und Edfu bekannt gegeben, aus denen hervorging, daß man schon im 15. vorchristlichen Jahrhundert vor den Tempeltoren riesige Obelisken errichtete, die in eine metallbeschlagene Spitze ausliefen, zu dem wiederholt ausgesprochenen Zwecke, das „Unwetter in der Höhe zu schneiden“. Sowohl die genannten Ägyptologen wie auch andere Gelehrte, die von diesem Material Kenntnis erhielten, vor allem Carus Sterne, der in einer sehr gründlichen und umfassenden Arbeit die gesamte, einschlägige Literatur nochmals diskutierte, kamen nun zu dem Resultat, daß an einer Kenntnis der Blitzableiter im Altertum fortan nicht mehr gezweifelt werden könne.

In den letzten 3 Jahrzehnten ist die früher so eifrig behandelte Streitfrage sonderbarerweise fast völlig vernachlässigt worden. Nur v. Urbanitzky nahm sich ihrer 1887 nochmals an und wiederholte im wesentlichen Martins Ausführungen, auffallenderweise jedoch, ohne sich mit dem wichtigsten Quellenmaterial, den z. T. schon seit 1871 bekannten ägyptischen Tempelinschriften, irgendwie auseinanderzusetzen. Somit war die Frage nach dem Sein oder Nichtsein etwaiger vorfranklinischer Blitzableiter jetzt, fast 140 Jahre nach Poinsinet de Sivrys erstem Auftreten, weniger denn je zuvor geklärt, und in der einschlägigen Literatur herrschte, soweit das heikle Thema nicht völlig mit Stillschweigen übergangen wurde, eine völlige Verwirrung der Begriffe. Auf die angeblichen altägyptischen Blitzableiter weisen jedenfalls z. B. sowohl die neusten Konversationslexika wie auch u. a. das Darmstädtersche Handbuch zur Geschichte der Naturwissenschaften hin.

In der vorliegenden Arbeit prüft nun der Verfasser das gesamte vorliegende Material auf das eingehendste und zitiert die wichtigsten Literaturstellen, aus denen das Vorhandensein vorfranklinscher Blitzableiter gefolgert wurde, durchweg im Original, so z. B. die ägyptischen Tempelinschriften, die Beschreibungen des Tempels Herodes' des Großen, die wichtigsten Nachrichten über den Dienst des Juppiter Elicius, den Bericht des Ktesias über die Unwetter vertreibenden Schwerter des Königs Artaxerxes, die Legende von der römischen „legio fulminatrix“, die Äußerung des heiligen Bernardinus von Siena über die mittelalterliche Sitte, bei heraufziehendem Unwetter am Mast des Schiffes ein blankes Schwert zu befestigen, und manche ähnliche Überlieferung, die auf eine Kenntnis des Blitzableiters vor Franklin, wenn auch z. T. in entstellter Form, zu deuten scheint.

Die Kritik des vorhandenen Materials ergibt nun aber mit einer durchaus einwandfreien Sicherheit, daß von einer bewußten Anwendung des Blitzableiters vor dem 18. Jahrhundert keinesfalls die Rede sein kann. Es wäre möglich, daß beim Tempel des Herodes unbewußt die Gesetze der Blitzableitung richtig befolgt waren, da die goldenen Spitzen auf dem Dach, die lediglich die Vögel vor dem Beschmutzen des goldenen Daches abhalten sollten, durch die kupfernen Regen-

gossen leitend mit den Zisternen verbunden waren; im übrigen aber fallen alle Vermutungen über das Vorkommen vorfranklinscher Blitzableitung bei näherer Betrachtung vollständig in sich zusammen. Die ägyptischen Inschriften werden von den heutigen Ägyptologen selbst preisgegeben und ganz anders gelesen, wie Dümichen und Brugsch es noch getan haben; die goldenen Spitzen auf dem Tempel des Herodes dienten, wie schon erwähnt, ausschließlich der Abwehr der Vögel, was der Gewährsmann Flavius Josephus ausdrücklich betont; die etruskische und altrömische Blitzlehre galt lediglich dem Weissagen aus Blitzerscheinungen; die Erzählungen von einem erfolgreichen Herablocken des Blitzes, die sich bei den verschiedensten Völkern wiederfinden, sind ohne jeden Zweifel nur als Legenden zu bewerten, ebenso wie die phantastischen Erzählungen des Ktesias, die Geschichte von der legio fulminatrix und manche andere alte, sagenhafte Überlieferung; die vom heiligen Bernardinus selbst als Aberglauben gerügte Sitte, die Spitze eines blanken Schwertes dem Unwetter zuzukehren, deckt sich hingegen wieder mit dem bei zahllosen Völkern in mannigfachsten Variationen immer wiederkehrenden Brauch, das Unwetter mit Waffen oder anderen Schreckmitteln zu bedrohen, um es dadurch zu vertreiben. Im einzelnen werden diese Behauptungen, ebenso wie die Widerlegung anderer als Beweis angeführten Literaturstellen, durchweg mit Hilfe von analogen abergläubischen Bräuchen bei anderen Völkern erwiesen, z. T. bei heut noch existierenden wilden Völkern oder dem abergläubischen Landvolk Kultureuropas.

Im Zusammenhang mit dieser Beweisführung verbreitet sich der Verfasser u. a. auch kurz über das Wetterschießen, Wetterläuten und ähnliche Gebräuche, deren Ursprung aus dem Aberglauben nachgewiesen wird. Die Ausführungen der Arbeit werden durch insgesamt etwa 150 Quellennachweise unterstützt. — Man darf zuversichtlich behaupten, daß die alte Streitfrage, die fast so alt ist wie der Blitzableiter selbst, ob vorfranklinsche Blitzableiter bewußt angewendet worden sind oder nicht, jetzt endgültig in verneinendem Sinne entschieden werden muß.

R. H. (Autoreferat.)

Neu erschienene Bücher und Schriften.

Abhandlungen zur Didaktik und Philosophie der Naturwissenschaft. Herausgeg. von F. Poske, A. Höfler und E. Grimsehl. Bd. II, Heft 3: Die Zentrifugalkraft. Ein Beitrag zur Revision der Newtonschen Bewegungsgesetze von Dr. F. Poske. Berlin, J. Springer, 1909. 80 S. M 3,—.

Die Mathematik, die alte treue Dienerin der Physik, hat sich im Laufe der Zeiten zu ihrer Herrin in ein Verhältnis zu setzen gewußt, bei dem die ihr hier geziemende Unterordnung oft in das Gegenteil verkehrt erscheint. Gar manche moderne physikalische Auffassung ist ihrem Einflusse entsprungen, nicht immer zum Vorteil der richtigen Erfassung und klaren Beschreibung des Tatbestandes. Beispiele dafür wird man besonders in der Mechanik, die an der mathematischen Durcharbeitung und Formulierung ihrer Probleme am längsten und erfolgreichsten gearbeitet hat, vermuten dürfen, und daß hier in der Tat die bisherige Grundlegung keineswegs so unanfechtbar ist, wie vielfach angenommen wird, darüber hat uns namentlich H. Hertz die Augen geöffnet.

F. Poske knüpft die vorliegende Abhandlung an die von Hertz über die Zentrifugalkraft geäußerten Bedenken an und weist nach, daß eine einwandfreie Darstellung der hierher gehörigen Vorgänge nur durch eine vorsichtigere Fassung der drei Newtonschen Grundgesetze der Bewegung zu gewinnen ist. Die bisherige Darstellung der freien Zentralbewegung bleibt im wesentlichen unangetastet; der Verfasser beschränkt sich hier auf eine kritische Sichtung der vorhandenen zahlreichen Ableitungen für die Größe der Zentripetalkraft, allerdings mit dem wichtigen Hinweise, daß von einer durch den bewegten Körper ausgeübten Reaktionskraft bei der freien krummlinigen Bewegung keinesfalls gesprochen werden kann, daß vielmehr die gegenseitige Anziehung des Zentralkörpers und seines Trabanten auch ohne die Bewegung gegeben ist, und neben dem Beharrungswiderstand des bewegten Körpers, der als Masse in die Formel $k = m\,b$ eingeht, ein besonderer derartiger Widerstand desselben nicht in Frage komme.

Zur „Revision“ der Newtonschen Be-

wegungsgesetze zwingt erst die Behandlung der zwangläufigen Zentralbewegung. Der Wunsch, diese in das Schema der freien Zentralbewegung einzuordnen, hat dazu geführt, die hier die krummlinige Bewegung herbeiführenden Widerstände durch eine Zentripetalkraft zu ersetzen, diese an sich zulässige mathematische Fiktion für eine Wirklichkeit zu nehmen und die Zentrifugalkraft nur als eine nach dem 3. Newtonschen Gesetze zu postulierende andere Erscheinungsform jener primären Kraft aufzufassen. Demgegenüber zeigt Poske in historischer Anknüpfung an Euler, Huygens, Poisson und andere, daß gerade umgekehrt in diesem Falle die Zentrifugalkraft allein reale Bedeutung hat, und von einer Zentripetalkraft im allgemeinen überhaupt nicht gesprochen werden kann. Das 1. Newtonsche Gesetz verdunkelt aber den Kraftbegriff, indem es ihn über den im 2. Gesetz auftretenden Begriff der „bewegenden" Kraft hinaus zu dem der „äußeren" Kräfte (vires impressae) erweitert, unter den auch Bewegungshindernisse befaßt werden, die wohl verzögernde, aber nie beschleunigende Wirkungen hervorrufen können. In Anlehnung hieran hat die moderne Physik alle Bewegungshindernisse durch Normalkräfte ersetzt, während „der Mechanik vor Lagrange die Annahme solcher sozusagen toten Kräfte völlig fern lag" (S. 37). Es entspricht nun aber den Prinzipien einer gesunden Naturphilosophie, in die Definition eines der Erklärung bzw. Beschreibung der physikalischen Vorgänge dienenden Begriffs nicht mehr Merkmale aufzunehmen, als sein Zweck erfordert. Poske weist nach, daß es genügt, zu erklären: „Die Ursache einer Beschleunigung oder einer statt dieser hervorgerufenen Spannung heißt Kraft" (S. 36), wobei die Ursache einer Verzögerung nur dann als Kraft gelten soll, wenn sie auch eine wirkliche Beschleunigung hervorzurufen vermag. Das Beharrungsgesetz ist dabei in die Fassung zu bringen: „Jeder Körper verharrt in dem Zustande der Ruhe oder der geradlinigen gleichförmigen Bewegung, sofern nicht Umstände vorhanden sind, durch die erfahrungsgemäß eine Änderung jenes Zustandes bewirkt wird" (S. 32).

Entfallen hiernach die Prämissen, auf Grund deren der Zentripetalkraft eine primäre Stellung beim Zustandekommen der zwangläufigen Zentralbewegung zugesprochen wurde, so läßt sich weiter in diesem Falle auch nicht einmal allgemein ihre sekundäre Bedeutung retten. Mit Entschiedenheit und unter Heranziehung zahlreicher Erfahrungstatsachen macht Poske geltend, daß dem für diesen Zweck herangezogenen 3. Newtonschen Gesetz die Allgemeingültigkeit nicht zukomme, die ihm gewöhnlich zugeschrieben wird, daß es sich vielmehr in einer großen Anzahl der Beispiele, durch die das Gesetz von der Aktion und Reaktion erläutert zu werden pflegt, „nicht mehr um Beschreibung von Tatsachen, sondern um Deutung von solchen" (S. 41) handle; in vielen Fällen ist die sogenannte Reaktion nichts weiter als der Trägheitswiderstand, in anderen liegen psychologische Täuschungen vor. Prinzipiell wichtig ist im Verlauf dieser Darlegungen eine Ableitung des Stoßgesetzes ohne Zuhilfenahme des 3. Gesetzes. Für das eigentliche Thema der Arbeit ergibt sich schließlich, daß bei der Bewegung eines materiellen Punktes längs einer gekrümmten unelastischen Wand die Zentripetalkraft bloß eine mathematisch „substituierte", beim Vorhandensein einer elastischen Wand eine sekundär „induzierte" Kraft ist (S. 53). Auch bei einem rotierenden Körper ist der nach außen gerichtete Druck das Primäre und eine etwa induzierte elastische Gegenkraft für den eigentlichen Vorgang unwesentlich.

In einer „Analyse der Bewegung des Zentrifugalpendels unter dem Gesichtspunkt der Zwangläufigkeit" (S. 70) gibt Poske mit Benutzung des zentrifugalen Zuges in der Richtung des Fadens eine einwandfreie Ableitung für die Schwingungsdauer, bei der allerdings eine erst näher zu rechtfertigende Modifikation des Beharrungsgesetzes benutzt wird.

Ein Anhang am Schlusse der Arbeit enthält die Beschreibung einiger neueren Apparate zur Messung der Zentrifugalkraft.

Keferstein-Hamburg.

Theorie der Elektrizität. Von M. Abraham. Zweiter Band. Elektromagnetische Theorie der Strahlung. 2. Auflage. Leipzig und Berlin, Teubner, 1908. XII und 404 Seiten. M 10,—.

Die nach Ablauf von 3 Jahren bereits notwendig gewordene Neuauflage bezeugt am besten das große Interesse, das diesem Werke entgegengebracht wird. Entsprechend der Weiterentwicklung der Wissenschaft ist eine Reihe neuer Kapitel hinzugetreten, wie die Theorie des bewegten, strahlungserfüllten Hohlraumes, an der besonders Hasenöhrl, Mosengeil und Planck gearbeitet haben. Auch die Einsteinsche Relativtheorie, die heute so viele Bewunderer findet, wird be-

handelt; es verdient hervorgehoben zu werden, daß der Verfasser die großen Schwierigkeiten, zu denen diese Theorie führt, nicht verkennt — offenbar bei aller Wertschätzung des von Einstein betretenen Pfades als eines kühnen, mathematisch eleganten Versuchs. Aber diese Elektrodynamik in bewegten Körpern kann dem Realphysiker nur wenig Vertrauen einflößen, denn sie enthält viel zu viel Spekulation, kaum einen festbegründeten Angelpunkt, und man glaubt beinahe, die alte Zeit der Naturphilosophie in neuem Gewande wieder aufleben zu sehen. Das Abrahamsche Buch unterrichtet den Leser über diese Dinge in der bekannten klaren und knappen Weise; nur würde es wohl für die objektive Behandlung der vom experimentellen Standpunkt aus ziemlich heiklen Materie von Vorteil gewesen sein, wenn der Verfasser auch auf einige ganz andere Auffassungsarten, in erster Linie auf die Stokessche Theorie vom mitgeführten Äther, eingegangen wäre. Es ist eigentümlich, daß — wie auch auf anderen Gebieten der Physik — die Vorliebe für eine bestimmte Grundauffassung von der Nationalität der Physiker abhängt: die Deutschen wollen unter dem physikalischen Raume, in dem sich die elektromagnetischen Vorgänge abspielen, durchaus etwas Unmaterielles, sozusagen Abstrakt-Mathematisches verstehen, während die Engländer dazu neigen, diesem Raume, dem „Äther", Substanz — zwar verschieden von gewöhnlicher Materie, aber doch dieser ähnlich — zuzuschreiben. Aus diesen Grundtendenzen entspringen dann ganz verschiedene Theorien der Elektrodynamik; man tut beim heutigen Stande der Forschung gut, keiner derselben zu viel Glauben entgegenzubringen.

E. Gehrcke.

The Theory of Electrons and its Applications to the Phenomena of Light and Radiant Heat. By H. A. Lorentz. A course of lectures delivered in Columbia University, New York, in march and april 1906. B. G. Teubners Sammlung von Lehrbüchern auf dem Gebiete der mathematischen Wissenschaften mit Einschluß ihrer Anwendungen. Band XXIX. Leipzig 1909. 332 Seiten. Geheftet M 8,—; geb. in Leinwand M 9,—.

Dieses Buch, in welchem der Begründer der Elektronentheorie seine Gedanken über die Elektronen, ihr Verhalten bei der Emission und Absorption des Lichts und im Zeemaneffekt in der bekannten, H. A. Lorentz eigenen, klar anschaulichen und objektiven Art darlegt, bedarf selbstverständlich keiner besonderen Empfehlung. In den beiden Schlußkapiteln über die Fortpflanzung des Lichts innerhalb eines von Molekülen durchsetzten Raumes und in bewegten Körpern wird der Leser manches in modern überarbeiteter Form wiederfinden, was schon früher durch den Verfasser in seiner Monographie: Versuch einer Theorie der elektrischen und optischen Erscheinungen in bewegten Körpern, dargestellt wurde. Insbesondere erfährt auch die Einsteinsche Relativtheorie eingehende Berücksichtigung. Nicht nur für denjenigen, der sich über dieses augenblicklich sehr aktuelle Gebiet der Forschung unterrichten will, sondern auch für den weiterarbeitenden Physiker ist das Buch von größtem Werte. *E. Gehrcke.*

Die technischen Strom- und Spannungsmesser. Mit Anhängen: Praktische Ratschläge bei der Auswahl von Strom- und Spannungsmessern. Technische Kompensationseinrichtungen zur Eichung von Strom- und Spannungsmessern. Von Privatdozent Dr. Brion. 18 dreispaltige Seiten mit 35 Abbildungen. — **Technische Instrumentarien zur Prüfung und Überwachung des Betriebszustandes von elektrischen Anlagen.** Von Dr.-Ing. K. Fischer. 14 dreispaltige Seiten mit 40 Abbildungen. — **Die Galvanometer.** Von Privatdozent Dr. Hausrath. 26 dreispaltige Seiten mit 42 Abbildungen. — **Technische Widerstände.** Von Dr.-Ing. K. Fischer. 15 dreispaltige Seiten mit 55 Abbildungen. (Sonderdrucke der Fach- und Exportzeitschrift für Elektrotechnik Helios, 15. Jahrgang, Heft 1; 11; 15, 19, 29; 25, 26, 27. 1909. Verlag Hachmeister und Thal, Leipzig. Preis je 1 M.)

Die Herausgabe dieser kleinen Monographien ist sehr zu begrüßen, insbesondere weil ihnen ein gut entworfener Plan zugrunde liegt. In jedem Heft werden zunächst die allgemeinen Gesichtspunkte auseinandergesetzt, die für die Einrichtung und Benutzung der betreffenden Apparatengruppe maßgebend sind, und darauf folgt eine vergleichende Beurteilung bewährter, jetzt im Handel befindlicher Typen aus den verschiedensten Werkstätten, die besonders in dem Heft über Galvanometer von großer Reichhaltigkeit und Übersichtlichkeit ist. Bei Neuanschaffungen wird man die Hefte mit großem Nutzen zu Rate ziehen, aber auch für die vielseitige Ausnutzung schon vorhandener Instrumente wird mancherlei wertvolle Anregung, in jedem Falle aber eine höchst angenehme Klärung und Sicherung des Urteils zu gewinnen sein. Die Weiterführung der Sammlung ist sehr

wünschenswert. Man sollte auch auf anderen Gebieten regelmäßige Folgen von solchen kleinen engbegrenzten Monographien zur Apparatenkunde schaffen; sie können sich leicht den jeweiligen Bedürfnissen und Fortschritten anpassen und sind für viele Zwecke nützlicher als umfassende, mit viel historischem Ballast beschwerte Bücher, die damit freilich auch nicht unnütz gescholten werden sollen. *W. Vn.*

Das Arbeiten mit farbenempfindlichen Platten. Von Dr. E. König. Mit 2 Textfiguren und 16 Tafeln. 76 Seiten. Berlin, Gustav Schmidt, 1909. M 2,25; geb. M 2,85.

Nach einleitenden Worten über die Spektroskopie der Farbstoffe schildert Verf. die als Sensibilisatoren brauchbaren Farbstoffe, die Herstellung der Badeplatten, die Lichtfilter, die Prüfung farbenempfindlicher Platten, ihre Verarbeitung in den verschiedensten Fällen, die Aufnahme bei künstlichem Licht und die Besonderheiten des für die Reproduktionstechnik wichtigen Bromsilberkollodiums. Wer Rezepte erwartet, nach denen er gedankenlos arbeiten kann, kommt nicht auf seine Kosten. Verf. wendet sich vielmehr überall an das eigene Urteil des Lesers: er gibt die Gesichtspunkte an, auf die es ankommt und warnt bei jedem Beispiel vor unrichtiger Verallgemeinerung. Besonders zieht er gegen die Meinung zu Felde, als wenn die Aufgabe der orthochromatischen Photographie erfüllt sei, sobald man eine Platte nebst Filter habe, die jede Farbe genau nach ihrer Helligkeit abbildet. Ein mehrfarbiges Objekt, dessen Farben alle gleichen Helligkeitswert haben, würde dann bei der Aufnahme alle Zeichnung verlieren. Die farblose Wiedergabe eines farbigen Objektes kann nicht mit einem Wertungsschema der Farbe auskommen; es gehört vielmehr ein feines Urteil dazu, in jedem Fall die Farbe so zu werten, daß wir die Wiedergabe als wahrheitsgemäß und deutlich empfinden können. *W. Vn.*

Die Projektion photographischer Aufnahmen. Von Hans Schmidt. Mit 174 Textfiguren. VIII und 220 Seiten. Berlin, Gustav Schmidt, 1909. Zweite neubearbeitete Auflage. M 4,—; geb. M 4,80.

In diesem, gegen die erste Auflage vollständig veränderten Buche schildert Verf. in einfachster Darstellungsweise und in großer Vielseitigkeit die Bestandteile des Projektionsapparates, seine Wirkungsweise und Behandlung, die Vorbereitungen zum Projektionsvortrag, die Herstellung der Bilder, die stereoskopische Projektion und die undurchsichtigen Gegenstände. Für den Kühltrog ist die wertlose Alaunlösung empfohlen oder Eisenchlorid-(irrtümlich statt Eisenchlorür-)lösung, sehr sonderbar ist der Vorschlag, beim Gasolinkalklicht die Abkühlung des Gefäßes, aus dem das Gasolin verdampft, durch Umhüllung mit einem wollenen Tuch zu verhindern. Im großen und ganzen aber ist das Buch recht brauchbar. *W. Vn.*

Lehrbuch der Projektion. Von Dr. R. Neuhauß. Zweite umgearbeitete Auflage. VIII u. 141 Seiten. Halle a. S., Wilhelm Knapp, 1908. M 4,—.

Das bewährte Buch hat seine Gestalt nicht wesentlich geändert; im einzelnen sind viele kleine Verbesserungen vorgenommen und zahlreiche Ergänzungen hinzugefügt; den in kritischen Bemerkungen stellenweise etwas poltrigen Ton hat Verf. leider nicht überall ausgemerzt. Bei der Beschreibung der elektrischen Bogenlampen vermißt man die mit horizontaler positiver Kohle, die sich besonders gut bewährt haben. Die Kapitelüberschriften sind: Geschichte, Gehäuse, Beleuchtungslinsen, Kühlkammer, Bildhalter, Objektiv, Lichtquellen, Glasbild, weißer Schirm, Doppelapparate, farbige Projektion, undurchsichtige Gegenstände, Panoramen, stereoskopische Projektion, kinematische Projektion, Projektion wissenschaftlicher Versuche, mikroskopische Projektion, Reiseapparate, allgemeine Regeln. *W. Vn.*

Experimentierbuch für den Unterricht in der Naturlehre. In zwei Bänden. Von Dr. Karl Rosenberg, K. K. Landesschulinspektor. Zweite, vollkommen umgearbeitete und bedeutend vermehrte Auflage. 1. Band. Mit 361 in den Text gedruckten Figuren. Wien und Leipzig, Alfred Hölder, 1908. XII u. 456 S. M 6,—; geb. M 6,60.

Zwanzig Jahr lang hat Rosenberg an Schulen ganz verschiedener Art physikalischen und chemischen Unterricht mit großem Erfolg erteilt. Er hat dabei anfangs mit ganz geringen, später mit reichern Hilfsmitteln, stets aber mit hinreißender Begeisterung und unermüdlichem Eifer gearbeitet. Durch zahlreiche neue Versuche und viele selbst erfundene und selbst hergestellte Apparate hat er unsern Unterricht bereichert. Als Leiter von ausgezeichneten Experimentierkursen und als Landesschulinspektor hat er Begabte und Unbegabte, Kenntnisreiche und Un-

wissende mit seinen und mit andern Apparaten Versuche anstellen sehen. Bei dieser mühevollen Lebensarbeit konnte er die eigenen Fähigkeiten voll entwickeln, ungemein vielseitige Erfahrungen sammeln und einen weiten, klaren und sichern Blick für die allgemeine Brauchbarkeit der verschiedenen Versuche und Apparate gewinnen. Mit einem umfangreichen Wissen verbindet Rosenberg eine liebenswürdige Bescheidenheit, die ihn davon abhält, dem Leser das aufzunötigen, was ihm selbst in seiner eigenen Tätigkeit besonders lieb geworden ist. Sein Buch ist daher außerordentlich inhaltsreich und gewährt dem Benutzer volle Freiheit, aus der Fülle des Gebotnen das auszuwählen, was seiner Eigenart und seinen Bedürfnissen am besten entspricht. Diese Auswahl war bei der 1. Auflage, die sich an die drei konzentrischen Kreise der österreichischen Bürgerschulen anschloß, nur recht mühsam zu treffen. Dieser Mangel, der einzige, den ich damals fand, ist in der neuen Auflage beseitigt. Diese ist ein vollkommen neues Werk, das nun die Bedürfnisse aller Schularten mit Ausnahme der Hochschulen befriedigt.

Der vorliegende erste Teil umfaßt die Technik der physikalischen und chemischen Versuche für die Unterstufe der höhern Schulen, während der zweite Teil, der binnen kurzem erscheinen wird, der experimentellen Behandlung des Lehrstoffs der Oberstufe gewidmet ist. Dem besondern Teil ist ein allgemeiner Abschnitt vorausgeschickt, worin das Lehrzimmer und seine Einrichtungen, der Projektionsapparat, der Sammlungsraum und das Arbeitszimmer, die allgemeinen Grundsätze für die Anstellung von Schulversuchen, ferner die Anfertigung und Zusammensetzung physikalischer und chemischer Apparate durch den Lehrer, die Geräte, Werkzeuge und Materialien zur Ausbesserung, Anfertigung und Zusammensetzung physikalischer und chemischer Apparate und die wichtigsten Handfertigkeiten behandelt werden.

Rosenbergs Experimentierbuch ist ein hochmodernes Werk, das überall die Fortschritte auf dem Gebiet der Schulversuche berücksichtigt. Eingehend sind die Beschaffung der erforderlichen Energiequellen und die für die bequeme Handhabung notwendigen Umformungen der Energien erörtert. In kerngesunder Auffassung tritt Rosenberg für die Anschaffung nur weniger unentbehrlicher Apparate ein, die aber tadellos gebaut sein sollen. Diese ergänzt er durch ganz einfache Vorrichtungen, die man eicht selbst herstellen und aufbauen kann. Er erreicht auf diese Weise sehr einfache und durchsichtige Versuchsanordnungen, die man bequem den Bedingungen der verschiedensten Schulsammlungen anpassen kann. Wer unter Rosenbergs Anleitung experimentieren gelernt hat, der wird wirklich Herr seiner Apparate und Versuche und bekommt eine leichte Hand und einen beweglichen Geist. Freilich setzt das Buch gründliche Vorbereitung, fleißiges Einüben und eine zuversichtliche Offensive beim Experimentieren voraus. Das prächtige Buch ist ein unentbehrliches Hilfsmittel für alle Physiklehrer, besonders aber für die Lehrer, denen nur geringe Mittel zur Verfügung stehen, und seine weite Verbreitung wird sicher ungemein zur Hebung des physikalischen Unterrichts beitragen. *Hahn.*

Naturlehre für höhere Lehranstalten, auf Schülerübungen gegründet. Von Dr. Friedrich Dannemann, Direktor der Realschule zu Barmen. II. Teil. Physik, insbesondere für Realschulen und den ersten Kursus der Vollanstalten. Hannover und Leipzig, Hahnsche Buchhandlung, 1908. VIII u. 204 S. M 3,60.

Als die physikalischen Schülerübungen in den amerikanischen und englischen Schulen eingeführt wurden, erschien eine Reihe von Büchern, darunter ganz ausgezeichnete, in denen die Übungen und gleichzeitig auch der physikalische Lehrstoff entweder methodisch oder systematisch behandelt wurden. Diese Vereinigung hat sich jedoch nicht bewährt, und man ist in den letzten Jahrzehnten fast überall zu einer Trennung von Übungsbuch und systematischem Lehrbuch fortgeschritten. Die vorliegende Naturlehre schließt sich in ihrer Anlage an jene ältere Form an. Auf die Übung oder vielmehr auf eine ganze Reihe von Übungen folgt die Darstellung der physikalischen Lehren, die sich daraus ergeben. Die Übungen sind, wie dies für die Unterstufe auch zweckmäßig ist, teils qualitativ, teils quantitativ. Einige davon sind echte Demonstrationsversuche, die bei künftigen Auflagen besser wieder ausgeschieden würden. Bei manchen Übungen dürften ohne weitere Anleitungen gute Ergebnisse nicht zu erzielen sein; der Verfasser müßte daher in einer besondern Schrift eingehendere Angaben über die Art der Ausführung machen. — Bei dem Lehrverfahren, dem das Buch dienen soll, kann man nicht, wie es darin geschehen ist, die Dynamik vor der Statik durchnehmen. — Die Darstellung des physikalischen Lehrstoffs ist sehr ver-

ständlich und ansprechend geschrieben; die Schüler werden sie sicher gern lesen, ebenso wie die angehängten interessanten Abschnitte aus den Schriften von Forschern, die der Physik neue Bahnen gewiesen haben. Daß hier und da einmal eine Ungenauigkeit stehengeblieben, ist bei der ersten Auflage eines Buchs zu entschuldigen. — Das Lehrverfahren, das Dannemann anwendet, verlangt eine starke Beschränkung des Lehrstoffs. Der Lösung der schwierigen Aufgabe, wie man diese Auswahl am besten trifft, ist Dannemann in diesem Buch nicht näher getreten. — Es ist zu hoffen, daß das Buch dazu beitragen wird, den Schülerübungen namentlich in den Realschulen Eingang zu verschaffen. *Hahn.*

Theorien der Chemie. Nach Vorlesungen, gehalten an der Universität von Kalifornien zu Berkeley von Svante Arrhenius. Mit Unterstützung des Verfassers aus dem englischen Manuskript übersetzt von Alexis Finkelstein. 2. neu bearbeitete und bedeutend vermehrte Auflage. Leipzig, Akademische Verlagsanstalt m. b. H., 1909. X u. 233 S. Geb. M 8,50.

Nach drei Jahren ist eine neue Auflage des vortrefflichen Buches nötig geworden. Alles, was in dieser Zeit — namentlich auf dem Gebiet der Radioaktivität, der Chemie der extrem hohen Temperaturen und der Chemie der nichtwässerigen Lösungen — gearbeitet worden ist, hat der Verf. unter kritischer Sichtung und Würdigung nachgetragen; auch ältere Arbeiten, die manche der besprochenen Dinge von anderer Seite beleuchten, sind noch hinzugenommen worden, zum Vorteil des Buches. Die älteste und umfassendste der behandelten Theorien, die Atomtheorie, ist in den zwischen beiden Auflagen liegenden Jahren wohl am schärfsten umstritten worden. Die Wundererscheinungen der Radioaktivität, die quantitative Auswertung der Brownschen Molekularbewegung und andere Dinge mehr haben aber so viel Argumente für die alte Theorie und ihre Fruchtbarkeit erbracht, daß die theoretischen Bedenken von Wald und Ostwald nicht dagegen aufkommen. Arrhenius stellt sich womöglich noch entschiedener als früher auf den Boden der Atomtheorie. Dagegen steht er den modernen Bestrebungen, die alte Valenztheorie mit neuem Inhalt zu erfüllen, kritisch gegenüber.

In einer neuen Auflage wäre eine deutlichere Schreibweise der Massenwirkungsformeln erwünscht. Eine Formel wie S. 158 $K\,C^2(H_2O) = C(O_2) \cdot C^2(H_2)$ sieht auf den ersten Blick wie eine zusammengezogene organische Strukturformel aus! Von dieser Kleinigkeit abgesehen, ist es ein wahrer Genuß, das Buch zu lesen; und alles, was der Ref. bei der Besprechung der ersten Auflage (März 1907) gesagt hat, kann bei der vorliegenden, um etwa $^1/_3$ des Umfanges vermehrten Neuausgabe nur verstärkt wiederholt werden. *W. Roth-Greifswald.*

Justus von Liebig. Von Jakob Volhard. I. Band, XI u. 456 S. II. Band, VIII u. 437 S. Mit je einem Bildnis Liebigs. Leipzig, J. A. Barth, 1909. M 22,—; geb. M 24,—.

Der Verfasser hat mit diesem Werk ein Liebig-Denkmal geschaffen, für das man ihm außerordentlich dankbar sein muß. In den beiden umfangreichen Bänden wird uns nicht nur die gigantische Lebensarbeit des wissenschaftlichen Forschers klar vor Augen gestellt, sondern auch ein vorzügliches Charakterbild der unvergleichlichen Persönlichkeit Liebigs entwickelt. Verschiedene Veröffentlichungen der letzten Zeit — besonders die Kahlbaumschen Monographien (vgl. die Referate in dieser Zeitschr.), die sich mit dem vielseitigen Briefwechsel Liebigs beschäftigten — hatten in dieser Beziehung gut vorgearbeitet. Dort und noch vielmehr hier im vorliegenden Werke hebt sich Liebig immer mehr ab nicht nur als einer der größten Söhne Deutschlands, sondern als der in kultureller Hinsicht einflußreichste und größte Forscher seines Jahrhunderts. Im ersten Bande des Werkes finden sich, außer all den Aufzeichnungen, welche uns den Lebensgang Liebigs schildern, die rein chemisch-experimentellen Arbeiten der ersten Lebensperiode, besonders auch die epochemachenden Forschungen auf organischem Gebiet, bis ins einzelne berücksichtigt, während der zweite hauptsächlich die grundlegenden Arbeiten zur Agrikulturchemie sowie zur Tierchemie lebensvoll darstellt. Allenthalben ist das Ganze durchsetzt von eigenen Notizen Liebigs, insbesondere von ganz oder teilweise mitgeteilten Briefen, die beiläufig Zeugnis ablegen von der Meisterschaft Liebigs in der Beherrschung der Sprache. In letzterer Beziehung ist schon ein Brief des jugendlichen Liebig an den ihn leidenschaftlich liebenden Dichter von Platen sehr kennzeichnend. Wir müssen uns indessen versagen aus der Fülle des Interessanten hier weiteres mitzuteilen. Das allgemeinster Beachtung zu empfehlende Buch darf z. B. in keiner Anstaltsbibliothek fehlen.

Wegen der Vorbildlichkeit Liebigs sowohl hinsichtlich der Art seines Forschens wie auch seiner Lebensführung ist das Buch aber auch schon zur Lektüre für Primaner vorzüglich geeignet und sei daher auch zur Anschaffung für die Schülerbibliotheken sowie für Prämienzwecke eindringlich empfohlen.

O. Ohmann.

Praktikum des anorganischen Chemikers. Von Dr. E. Knoevenagel, a. o. Prof. a. d. Univ. Heidelberg. 2. vollständig veränderte Aufl., mitbearbeitet von Dr. E. Ebler. Mit zahlreichen Figuren, vier Tabellen und neun Tafeln. Leipzig, Veit & Comp., 1909. XXIV u. 386 S. M 10,—.

Die neue Ausgabe des in dieser Zeitschr. (*15, 340*) bereits nach seinen Vorzügen gewürdigten Buches ist erheblich umgearbeitet und erweitert worden. Beispielsweise ist die Ionentheorie, die bisher nur im Anhang behandelt war, jetzt dem praktischen Unterricht in dem Umfange, wie es dienlich schien, zugrunde gelegt worden. Überhaupt finden sich die neueren Gesetze und Theorien ausgiebig praktisch verwertet. Daß die eleganten und empfindlichen Flammenreaktionen, die in ähnlichen Büchern vielfach nur knapp behandelt sind, hier in ausführlicher Wiedergabe zu finden sind, geschah offenbar nicht nur aus Pietät gegen Bunsen, sondern aus sachlichen Gründen; dieser Abschnitt ist besonders wertvoll für den Mittelschulunterricht. Auch einzelne originale Trennungsmethoden wurden in der neuen Ausgabe teilweise noch verbessert, teilweise neu hinzugefügt. Das vorzügliche Buch sei allgemeiner Beachtung empfohlen. *O.*

Anleitung zur qualitativen chemischen Analyse. Zum Gebrauche bei den praktischen Arbeiten im Laboratorium. Von Prof. Dr. H. Hlasiwetz. 14. Aufl., durchgesehen und ergänzt von Dr. G. Vortmann, Prof. a. d. k. k. Technischen Hochschule in Wien. Leipzig und Wien, F. Deuticke, 1909. 51 S. M 1,—.

Das aus dem Gebrauch an der Wiener Technischen Hochschule hervorgegangene und in den ersten drei Auflagen als Manuskript gedruckte Büchlein wurde bereits in dieser Zeitschrift (*17, 187*) kurz angezeigt. Es will ausschließlich einfache Vorschriften zur traditionellen Analyse geben, weshalb von sonstigen theoretischen Erörterungen und von Figuren abgesehen ist. Kürze und präziser Ausdruck sind auch in der neuen, wenig veränderten Ausgabe die Vorzüge der Anleitung. *O.*

Lehrbuch für den Unterricht in der Chemie mit Berücksichtigung der Mineralogie und chemischen Technologie von R. Waeber. XVI. Auflage, neu bearbeitet von E. Heinze und Dr. K. Pappenheim. 8°. Geb. M 2,80.

Die 15. Auflage dieses Lehrbuches ist schon früher (diese Zeitschr. *XVIII, 314*) ausführlich besprochen worden. Die damals für dringend nötig erachtete gründliche und gleichmäßige Durcharbeitung des gesamten reichhaltigen Stoffes ist durch die beiden Neubearbeiter in sehr anzuerkennender Weise erfolgt, so daß das Lehrbuch an Klarheit und Übersichtlichkeit wie auch an wissenschaftlicher Zuverlässigkeit sehr gewonnen hat und als Leitfaden für den Unterricht in der neuen Gestalt bestens empfohlen werden kann.

A. Krause.

Programm-Abhandlungen.

Die gegenseitige Massenanziehung bei Newton und bei seinen Nachfolgern. Von H. Fritsch. Städt. Realgymnasium zu Königsberg i. Pr. Ostern 1909. 36 S. Pr.-Nr. 19.

Die Schrift enthält interessante Nachweise über den Zusammenhang der Newtonschen Forschung mit der Methodenlehre Bacos von Verulam, insbesondere auf dem Gebiet der Farbenlehre, wo sich allerdings sofort auch zeigt, wie sehr Newton „seinen Lehrer Baco an Sachkenntnis und an Herrschaft über die Hilfsmittel überragt“, und in den späteren streng mathematischen Untersuchungen der „Prinzipia“ über Spiegelung, Brechung und Beugung des Lichts „ist von baconischer Induktion keine Spur mehr zu erkennen“. Auch auf seinem zweiten Arbeitsgebiet, der Mechanik, schließt sich Newton zunächst wieder unmittelbar an das „Novum Organum“ Bacos an; den Begriff der anziehenden Kräfte hat er ebenfalls aus dieser Quelle geschöpft, um sich auch hier bald weit über seinen Vorgänger zu erheben. Während aber Newton die von ihm nachgewiesene Massenanziehung nur „mathematice“, nicht „physice“ verstanden wissen wollte und sich eifrig um eine Erklärung der Gravitation bemühte, erblickten Zeitgenossen und Nachfolger darin eine Grundeigenschaft der Materie, die dieser von der göttlichen Allmacht bereits bei ihrer Erschaffung beigelegt worden sei. In der zweiten Ausgabe der Optik von 1717 spricht sich Newton ausführlich über die Möglichkeit der Erklärung der Gravitation aus und erörtert auch die

Cartesische Wirbelbewegung; im Zusammenhang hiermit kommt er auf die Frage der Erhaltung der Bewegung in der Welt und konstatiert, daß nur durch passende Anordnung der bewegten Massen die Möglichkeit gegeben sei, stets wieder neue Bewegung aus dem Nichts zu schaffen. Hierin erblickt Newton einen strengen Beweis für das Dasein Gottes und bemüht sich nun in seinen letzten Lebensjahren, alle irgend erkennbaren Spuren von dem Eingreifen des unbekannten Ordners der Welt aufzufinden; auch hier bewährt er seine glänzende geistige Kraft, und mit Unrecht hat man in diesen Forschungen ein Zeichen des Verfalls seiner Kräfte erblicken wollen.

Der Verfasser bezeichnet es als einen großen und verhängnisvollen Fehler in der Entwicklung der neueren Physik, daß man auf den Versuch einer Erklärung der Gravitation verzichtete und damit auch die Probleme der Molekularwirkungen für jede Verarbeitung zu einem Ganzen unzugänglich machte. Er wendet sich dann der Frage nach der Elastizität der kleinsten Teilchen zu und legt dar, daß die Masse, weil undurchdringlich, auch als elastisch anzusehen sei, und daß die Annahme elastischer fein zerteilter Äthermassen berechtigt sei, durch die er (*Progr.-Abh. 1905*, vgl. *d. Zeitschr. 19, 133*) eine Ableitung der Newtonschen Zentralkräfte zu geben versucht hat. Er fügt hier ergänzend hinzu, daß man dem Äther nicht eine unendlich feine Zerteilung zuschreiben müsse, sondern daß sich für diese Zerteilung das Vorhandensein einer gewissen unteren Grenze nachweisen lasse.

P.

Entwurf zu einer Gastheorie mit ruhenden Körpermolekülen. Von Dr. Rudolph Uhlich. Kgl. Realgymnasium zu Döbeln. Ostern 1909. 34 S.

Der Verfasser legt seine Bedenken gegen die Grundannahme der kinetischen Gastheorie dar und gibt dann eine in mathematische Form gekleidete Darstellung seiner Theorie. Er nimmt an, daß die Körper aus ruhenden Molekülen bestehen (abgesehen von Schwingungen um eine Gleichgewichtslage), und daß zwischen ihnen Äthermoleküle von relativ viel geringerer Masse hin und her fliegen. Den Körpermolekülen wird eine Anziehungskraft nach einem dem Newtonschen ähnlichen Gesetz zugeschrieben, der die Stöße der Äthermoleküle entgegenwirken. Es zeigt sich, daß man auf Grund dieser Annahmen zu einer ähnlichen Zustandsgleichung für die Körper gelangen kann, wie auf Grund der kinetischen Gastheorie; die Abweichungen zwischen Theorie und Erfahrung lassen sich nach Ansicht des Verfassers hier einfacher erklären als bei der kinetischen Theorie; auch bedarf es zur Erklärung der Siedepunktskurven keines besonderen Gesetzes. Weitere Anwendungen bleiben dem künftigen Ausbau der Theorie vorbehalten. *P.*

1. Die Starkstromanlage des Ohligs-Walder Realgymnasiums. Von W. Giesing. — **2. Das neue chemische Institut.** Von Dr. V. Capelle. Realgymnasium i. E. mit Realschule zu Ohligs. Ostern 1909. 19 S. Pr.-Nr. 666.

Die Starkstromanlage ist von den Siemens-Schuckert-Werken zu großer Befriedigung der Fachlehrer ausgeführt. Zur Verfügung steht Drehstrom von 220 Volt, dieser wird zum Betrieb einer Gleichstromdynamo benutzt, bei der die neuesten Errungenschaften auf dem Gebiet des Dynamobaus verwertet sind. Die Dynamo (Type G. M. der genannten Werke) ist als Nebenschlußmaschine ohne Regulator ausgeführt; sie liefert einen Nutzstrom von 4 bis 110 Volt in Stufen von 2 Volt und beliebiger Stärke bis 35 Ampère. Außerdem ist an das Netz ein Drehstromtransformator angeschlossen, der Spannungen von 10 bis 100 Volt in zehn gleichen Stufen liefert. Von einer Akkumulatorenanlage ist Abstand genommen.

Das chemische Institut umfaßt ein Unterrichtszimmer von 6,3 m × 8,3 m, ein Vorbereitungs- und Sammlungszimmer von 6,3 m × 4,5 m, ein Laboratorium von 6,3 m × 7 m und eine Dunkelkammer. Die Einrichtung darf als mustergültig bezeichnet werden. *P.*

Wie lassen sich mit den in unsern Sammlungen vorhandenen Apparaten die Hauptgesetze der Induktion und ihre technischen Anwendungen im Unterricht demonstrieren? Von Prof. Dr. Felix Herstowski. Kgl. Friedrichs-G. Frankfurt a. O. Ostern 1909. 12 S. Pr. Nr. 83.

Die leider nur sehr kurze Schrift ist von der Art, der man häufiger in Programmen begegnen möchte, weil sie einen Einblick in den tatsächlichen Unterrichtsbetrieb gewährt, aus dem der Fachlehrer, auch wenn er nicht allem zustimmt, stets ein und das andre lernen kann. Es soll im Hinblick auf das Verdienstliche solcher Veröffentlichungen hier von einer kritischen Besprechung abgesehen und nur der Inhalt kurz angedeutet werden. Der Verfasser folgt der Vorschrift der preußischen Lehrpläne, daß Magnetismus und Elektrizität während eines Semesters der O II gelehrt

werden sollen, und rechnet auf dies Gebiet 40 Lehrstunden, von denen er höchstens 12 auf die Induktion verwenden will. Unter „unseren Sammlungen“ versteht er die Sammlungen des Kgl. Friedrichs-Gymnasiums, sein Unterrichtsgang ist den in diesen vorhandenen Apparaten angepaßt. Er demonstriert die Kraftlinien an einem Stab- und einem Ringmagneten; die Induktionsversuche werden mit diesem Ringmagneten, Spule und Vertikalgalvanoskop vorgeführt und die Betrachtung bis zu dem Satze geführt: „Das Schneiden von Kraftlinien ist die wesentliche Bedingung für das Zustandekommen von Induktionswirkungen.“ Die Gleichwertigkeit von Annäherung und von Stromschluß wird durch einen recht zweckmäßig angeordneten Versuch anschaulich gemacht. Das Gesetz von Lenz wird erst aus dem Prinzip der Energieerhaltung abgeleitet, dann experimentell bestätigt. Sehr früh werden hier schon die Foucaultströme herangezogen. Die Selbstinduktion wird durch einen Versuch nach Lommels Lehrbuch, der im Prinzip schon von Faraday erdacht ist, demonstriert.

Die Anwendungen beziehen sich auf Dynamomaschinen, an denen namentlich der Zusammenhang von elektromotorischer Gegenkraft und Stromstärke gezeigt wird, sowohl wenn sie als Generatoren, wie wenn sie als Motoren gebraucht werden. Für die Vorführung der Transformation wird ein Funkeninduktor benutzt, im Anschluß daran das Telephon und das Mikrophon behandelt. *P.*

Mitteilungen aus Werkstätten.

Neuer Gasentwicklungsapparat nach Prof. Dr. Schwegmann.

Von Hans Hilgers in Bonn.

Der Apparat (Fig. 1) kann in einem Augenblicke durch Eintauchen des Innengefäßes in die Säure in Betrieb und durch Hochstellen

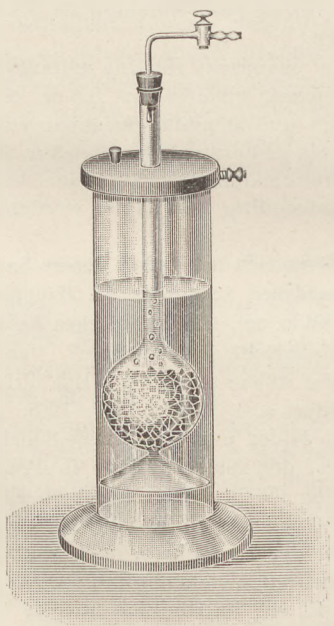


Fig. 1.

des Innengefäßes außerhalb der Säure außer Betrieb gesetzt werden. Die im Deckel befindliche, durchgehende Schraube dient zum Feststellen des Innengefäßes in beliebiger Höhe. Die Gasentwicklung ist regulierbar; solche erfolgt um so stärker, je tiefer die Kugel in die Säure eintaucht. Der angesetzte Trichter verhindert das Vorbeistreichen des Gases, wenn etwa kleine Körnchen von Schwefeleisen nach unten fallen sollten. Infolgedessen ist der Apparat stets völlig geruchlos. In wenigen Minuten kann er außerdem auseinandergenommen, gereinigt und wieder in Betrieb gesetzt werden und eignet sich in gleicher Weise für Entwicklung von Schwefelwasserstoff, Kohlensäure, Wasserstoff usw.

Größe des Zylinders: Höhe 40 cm, Durchmesser 10 cm. Preis des vollständigen Apparates M 15,—. Der Apparat ist der Firma im In- und Auslande gesetzlich geschützt.

Neue pneumatische Wanne ohne Brücke nach Weckesser und Hilgers.

Von Hans Hilgers in Bonn.

Die an der Außenseite der neuen brückenlosen pneumatischen Wanne (Fig. 2) befindliche Gaszuleitungsröhre wird durch Gummischlauch mit dem Gasometer oder Apparat verbunden und der Gaszylinder zum Füllen mit Gas direkt auf den Boden der Wanne über die Gasaustrittsöffnung gestellt. Die Vorteile bestehen 1. in dem Wegfall der in den freien Raum der Wanne einmündenden Gaszuleitungen, dadurch leichteres Experimentieren, 2. in dem Wegfall der Brücke,

wodurch der ganze Innenraum der Wanne uneingeschränkt ausgenutzt werden kann; 3. in der Verhütung des Überlaufens der Wanne bei Füllung vieler größerer Gefäße. (Bei Brückenwannen ist unterhalb der Brücke ein unnützer Raum mit Wasser zu füllen, wodurch die Fassung der Wanne beeinträchtigt wird.) Die brückenlose pneumatische Wanne besteht aus einem massivem eisernen lackierten Rahmengestell mit ca. 6 mm starken Spiegelglaswänden mit äußerer, in den Boden einmündender vernickelter Gaszuleitungsröhre mit vernickeltem Metallhahn; im Innenraum der Wanne in der Ecke befindet sich eine Wasserüberlaufröhre — in der Figur nicht dargestellt — zwecks Verhütung etwaigen Überfließens des Wassers über den Rand. Der Innenraum ist 40 cm lang, 22 cm breit, 14 cm hoch. Preis M 20,—.

Die Wanne ganz aus starkem lackierten Zinkblech, mit vernickelter, in den Boden einmündender Gaszuleitungsröhre ohne Metallhahn, Innenraum etwas kleiner, als oben angegeben, wird für M 11,— geliefert. Die Wanne ist der Firma im In- und Auslande gesetzlich geschützt.

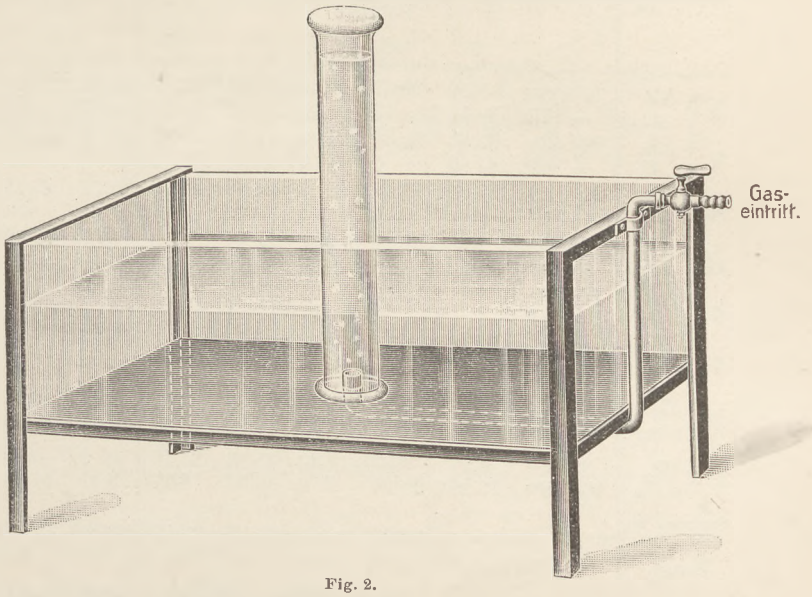


Fig. 2.

Korrespondenz.

Diesem Heft ist die astronomische Tafel für das Jahr 1910 von M. KOPPE beigegeben. Die vollständige Erklärung findet sich in der Sonderausgabe der Tafel, die unter dem Titel „Die Bahnen der beweglichen Gestirne im Jahre 1910“ im Verlag von Julius Springer in Berlin erschienen ist[1]).

Von den Abhandlungen zur Didaktik und Philosophie der Naturwissenschaft (Sonderhefte der Zeitschrift) erscheint im Januar dieses Jahres Heft 4 des II. Bandes: Magnetische und magnetisch-elektrische Messungen im Unterricht. Von Oberlehrer Dr. W. BAHRDT. 56 S. M 2,40.

[1]) Die Tafel ist durch jede Buchhandlung sowie auch direkt von der Verlagsbuchhandlung zu beziehen. Der Preis beträgt M —,40; für 10 Exemplare M 3,—; für 20 Exemplare M 5,50 bei portofreier Zusendung.

Zu dem NEUGEBAUERschen Heber (d. Zeitschrift *22*, *Heft 3*, *S. 207*) macht Herr Prof. Weinmeister in Tharandt noch folgende Bemerkung:

Man kann mit dem gelieferten Quecksilberheber wie mit jedem anderen Quecksilberheber unter Anwendung der Luftpumpe zeigen, daß bei fortschreitender Luftverdünnung der Heber seine Arbeit einstellt; es ist zu empfehlen, vorher den Hahn auf 45° Neigung zu stellen, damit sich die Entleerung nicht zu rasch vollzieht. Läßt man nun aber wieder Luft zutreten, so beginnt der Heber seine Arbeit von neuem; bei anderen *Hg*-Hebern habe ich dies noch nicht gesehen.

Himmelserscheinungen im Februar und März 1910.

☿ Merkur, ♀ Venus, ☉ Sonne, ♂ Mars, ♃ Jupiter, ♄ Saturn, ☾ Mond, 0^h = Mitternacht.

		Februar						März					
		2	7	12	17	22	27	4	9	14	19	24	29
☿	AR	$19^h\,58^m$	19 52	19.59	20.15	20.36	21. 1	21.28	21.57	22.27	22.58	23.31	0. 4
	D	-17^0	-18^0	-19^0	-19^0	-19^0	-18^0	-17^0	-15^0	-12^0	-9^0	-6^0	-2^0
♀	AR	$21^h\,53^m$	21.43	21.30	21.19	21. 9	21. 3	21. 2	21. 4	21.10	21.19	21.30	21.44
	D	-6^0	-6	-6	-7	-8	-9	-9	-10	-10	-11	-11	-10
☉	AR	$21^h\,1^m$	21.21	21.41	22. 1	22.20	22.39	22.57	23.16	23.34	23.53	0.11	0.29
	D	$-16^0\,58'$	$-15^0\,29'$	$-13^0\,53'$	$-12^0\,11'$	$-10^0\,24'$	$-8^0\,33'$	$-6^0\,39'$	$-4^0\,43'$	$-2^0\,45'$	$-0^0\,47'$	$+1^0\,12'$	$+3^0\,9'$
♂	AR	$2^h\,13^m$	2.25	2.37	2.48	3. 1	3.13	3.25	3.38	3.51	4. 4	4.17	4.30
	D	$+14^0$	$+15$	$+16$	$+17$	$+18$	$+19$	$+20$	$+21$	$+21$	$+22$	$+23$	$+23$
♃	AR	$12^h\,56^m$		12.55		12.53		12.50		12.46		12.41	
	D	-4^0		-4		-4		-4		-3		-3	
♄	AR	$1^h\,11^m$						1.21					
	D	$+5^0$						$+6$					
☉	Aufg.	$7^h\,44^m$	7.36	7.26	7.16	7. 6	6.55	6.44	6.33	6.21	6.10	5.58	5.46
	Unterg.	$16^h\,44^m$	16.54	17. 3	17.13	17.22	17.32	17.41	17.50	17.59	18. 8	18.17	18.25
☾	Aufg.	$0^h\,42^m$	6.27	8.57	10.30	15.13	21.17	2. 2	6.19	7.49	10.40	16.44	22.37
	Unterg.	$10^h\,38^m$	13.22	20.18	2. 3	6.56	8.17	9.41	14.49	22.18	3.36	6. 1	7. 2
Sternzeit im mittl. Mittg.		$20^h\,47^m\,3^s$	21. 6.45	21.26.28	21.46.11	22. 5 54	22.25.37	22.45.19	23. 5. 2	23.24.45	23.44.28	0. 4.10	0.23.53
Zeitgl.		$+13^m\,48^s$	$+14\,17$	$+14.25$	$+14.14$	$+13.45$	$+13.\,0$	$+12.\,1$	$+10.51$	$+\ 9.32$	$+\ 8.\ 6$	$+\ 6\,36$	$+\ 5.\ 4$

Mittlere Zeit = wahre Zeit + Zeitgleichung.

Frühlingsanfang am 21. März, $13^h\,3^m$ M.E.Z.

Mondphasen in M.E.Z.	Neumond	Erstes Viertel	Vollmond	Letztes Viertel
	Febr. 10, $2^h\,13^m$ März 11, $13^h\,12^m$	Febr. 16, $19^h\,32^m$ März 18, $4^h\,37^m$	Febr. 24, $4^h\,36^m$ März 25, $21^h\,21^m$	Febr. 2, $12^h\,27^m$ März 4, $8^h\,52^m$

Planetensichtbarkeit	Merkur	Venus	Mars	Jupiter	Saturn
im Februar	unsichtbar	unsichtbar	abends $6\frac{1}{2}$ bis 6 Stunden lang im W sichtbar	zuletzt 9 Stunden lang vor der Morgendämmerung sichtbar	abends noch 4 bis $2\frac{3}{4}$ Stunden lang im W sichtbar
im März	unsichtbar	morgens fast 1 Stunde lang sichtbar	die Sichtbarkeitsdauer sinkt auf $4\frac{1}{4}$ Stunden	die ganze Nacht sichtbar, Opposition am 31.	wird am Ende des Monats unsichtbar

Verfinsterungen der Jupitertrabanten: März 27, $22^h\,31^m\,35^s$ M.E.Z. Eintritt des I. Trabanten.
31, $20^h\,58^m\,22^s$ - Austritt - III. -

Ephemeride des **Halleyschen Kometen** nach Crommelin:

		α	δ	$\lg r$	$\lg \Delta$
Februar	4	$= 0^h\,59^m\,9^s$	$= +8^0\,14'$	= 0,1916	= 0,2410
	14	0 47 22	7 58	0,1473	0,2617
	24	0 38 5	7 54	0,0971	0,2743
März	16	0 30 10	7 57	0,0397	0,2779
	26	0 22 37	8 2	9,9744	0,2711
	6	0 14 15	8 5	9,9017	0,2492
April	5	0 4 53	8 1	9,8297	0,2069

r = Abstand von der Sonne, Δ = Abstand von der Erde.
Perihel durchgang April 19,65 M. Gr. Z.

Mitte November war der Komet bereits leicht in 9-zölligen Refraktoren als länglicher Nebel mit scharfem Kern (etwa 12. Größe) zu sehen. Das Spektrum war zu dieser Zeit kontinuierlich ohne Andeutung heller Linien oder Bänder. *F. Koerber.*

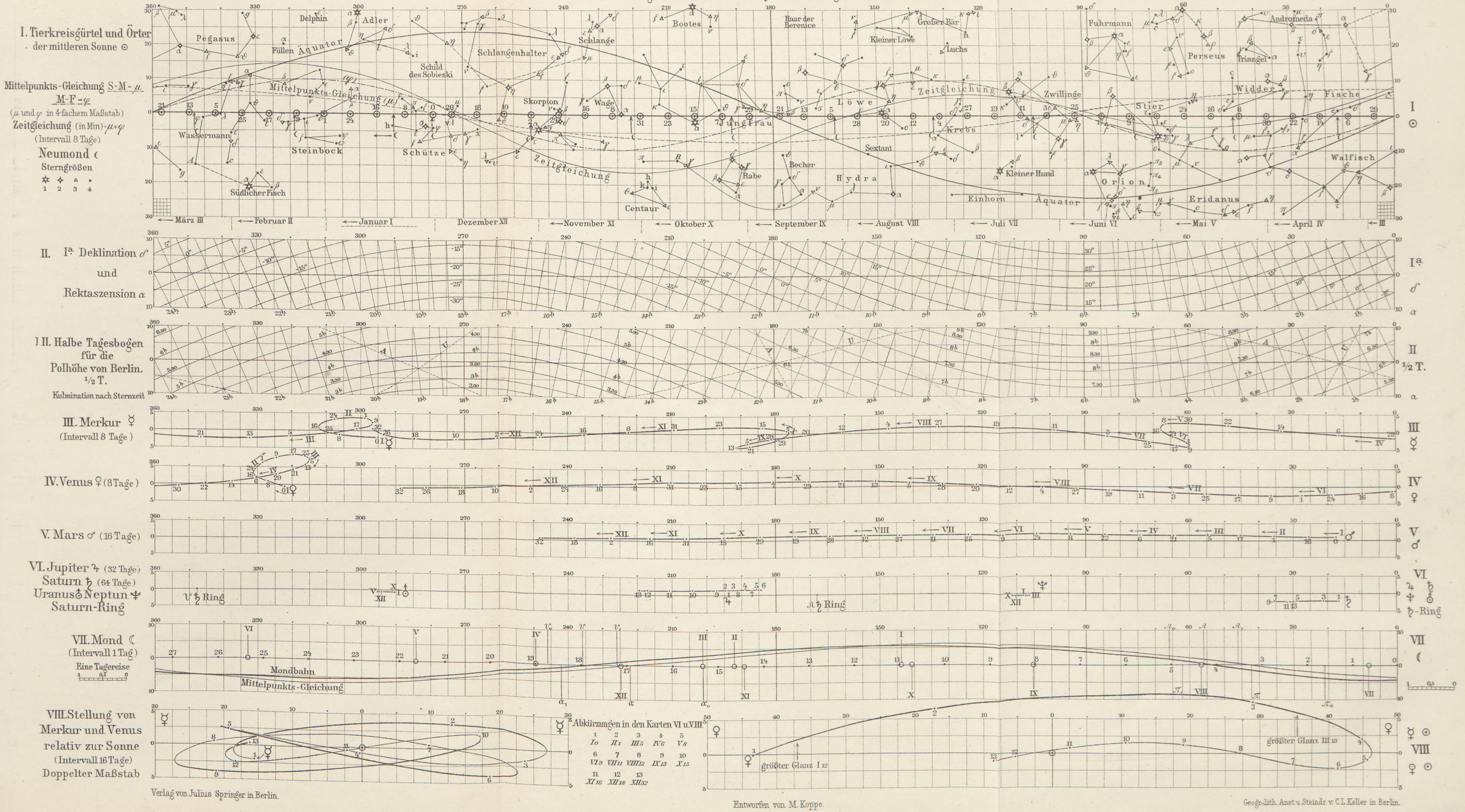
Nachdruck nur mit Quellenangabe und mit Genehmigung der Verlagshandlung gestattet.

Verlag von Julius Springer in Berlin N. — Universitäts-Buchdruckerei von Gustav Schade (Otto Francke) in Berlin N.

Zeitschrift für den Physikalischen und Chemischen Unterricht XXIII. Jahrgang.

Die Bahnen der beweglichen Gestirne im Jahre 1910

bezogen auf das Koordinatensystem der Länge und Breite.



Verlag von Julius Springer in Berlin.

Entworfen von M. Koppe.

Geogr.-lith. Anst. u. Steindr. v. C. L. Keller in Berlin.